Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada

Division de l'énergie
Division of Energy

Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie
Hydrogen and Energy Storage Program

L'hydrogène et le stockage de l'énergie
Rapport de l'avancement

J.E.A. Alderson, M. Hammerli,
J.R.B. Murphy et J.B. Taylor

Avril 1985

(Available in English)

Canada

86-04311/

Copyright 1985 par
Conseil national de recherches du Canada

De courtes citations et la reproduction de figures et tableaux du présent rapport sont autorisées sous réserve que la source en soit clairement mentionée.

Des exemplaires du rapport et d'autres publications de la Division de l'énergie peuvent être obtenus par courrier sur le paiement d'avance des droits requis (règlement par mandat de banque, mandat-exprès, mandat-poste ou chèque payables au Receveur général du Canada, crédit du CNRC) à l'adresse suivante:

Bureau de vente et diffusion des publications
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Prix unitaire: Gratuit

Copyright 1985 by
National Research Council of Canada

Permission is granted to quote short excerpts and to reproduce figures and tables from this report, provided that the source of such material is fully acknowledged.

Copies of this and other publications of the Division of Energy may be obtained by mailing the appropriate remittance (a Bank, Express, or Post Office Money Order, or a cheque made payable to the Receiver General for Canada, credit NRC) to

Publication Sales and Distribution Office
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0R6

Price: Free

RAPPORT DE L'AVANCEMENT DU PROGRAMME FÉDÉRAL DE L'HYDROGÈNE ET DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

J.E.A. Alderson, M. Hammerli,
J.R.B. Murphy and J.B. Taylor

NRCC No. 24424

AVRIL 1985

TABLE OF CONTENTS

		Page
5.6	PROGRAMME DE L'HYDROGÈNE ET DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE	
	Avant-Propos	vii
	Oganisation, administration et financement du programme	1
	5.6.1 SYSTÈMES À HYDROGÈNE	4
	5.6.1.1 PRODUCTION D'HYDROGÈNE	7
	Électrolyse	7
	Électrodes	10
	Séparateurs et électrolytes polymériques solides . . .	14
	Électrolyse de la vapeur d'eau dans un électrolyte solide	22
	Installation d'essai	27
	5.6.1.2 NOUVELLES TECHNIQUES	31
	Électrolyse	31
	Production thermochimique d'hydrogène.	35
	Petits générateurs d'hydrogène	39
	Matériaux réfractaires	42
	5.6.2 UTILISATION DE L'HYDROGÈNE.	46
	5.6.2.1 STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE	48
	Stockage massif	48
	Stockage à petite échelle	54
	Microencapsulation	55
	Hydrures	59

TABLE OF CONTENTS (Cont'd)

	Page
5.6.2.2 VECTEURS D'HYDROGÈNE LIQUIDES	62
5.6.2.3 SÛRETÉ ET FRAGILISATION	73
Sûreté	73
Fragilisation	76
Essai de sûreté des réservoirs à hydrogène liquide . .	79
5.6.2.4 PILES À COMBUSTIBLE	82
5.6.2.5 MOTEURS ET SOUS-SYSTÈMES	93
5.6.2.6 ANALYSE DE SYSTÈMES	101
5.6.3 STOCKAGE DE L'ÉNERGIE	104
5.6.3.1 STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE	106
Accumulateurs fonctionnant à haute température	106
Séparateurs au nitrure de bore	113
Accumulateurs aluminium air	116
5.6.3.2 ACCUMULATEUR DE VÉHICULE ET SOUS-SYSTÈMES	119
5.6.3.3 STOCKAGE MÉCHANIQUE	129
5.6.3.4 STOCKAGE THERMIQUE	134
AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (AIE)	140
5e CONFÉRENCE MONDIALE SUR L'HYDROGÈNE POUR L'ÉNERGIE	145
PROGRAMME DE L'HYDROGÈNE	146
Production d'hydrogène - Électrolyse	146
- Sources photoniques et thermique . . .	147
Stockage de l'hydrogène	148

TABLE OF CONTENTS (Cont'd)

	Page
Vecteurs liquides de stockge de l'hydrogène	149
Sûreté des systèmes à hydrogène	150
Utilisation de l'hydrogène	151
PROGRAMME DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE	152
Accumulateurs à haute énergie	152
Volant	153
Stockage thermique	154
LISTE DES PUBLICATIONS ET DES PRÉSENTATIONS	155
LISTE DES CONTRATS	173

AVANT-PROPOS

Dans l'ensemble, le présent rapport a la même présentation que le précédent, daté d'avril 1984. Pour qu'il soit complet en lui-même, on y a inclus de nombreux passages non modifiés du rapport précédent.

Dans le cadre de l'ensemble des mesures gouvernementales de restrictions budgétaires présentées le 8 novembre 1985, on a rendu publique une décision à l'effet de supprimer graduellement, d'ici avril 1986, les programmes en matière d'énergie du Conseil national de recherches du Canada financés par le Comité interministériel de recherche et développement énergétiques. Cette élimination graduelle touche notamment le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, dont les activités sont décrites dans le présent document.

Dans ce qui suit, on décrit l'orientation idéale qu'auraient prise les travaux de développement des divers projets en supposant que le financement se soit poursuivi. La liste des contrats, aux pages 144 et 145, montre la situation réelle résultant de la compression du programme. Pour certains contrats, le financement se poursuit au cours de l'année financière 1985/86 parce que des engagements ont été pris avant l'annonce de l'élimination graduelle du programme, mais ces contrats ne sont pas représentatifs des priorités scientifiques. Au moment de l'annonce de l'élimination graduelle, tous les contrats pour lesquels des négociations étaient en cours ont été annulés.

À l'intérieur du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, on planifiait généralement les activités en phases contractuelles délimitées par des jalons techniques principaux ou des points de prise de décision, ou les deux. Par conséquent, on mettra fin à de nombreuses activités à une étape intermédiaire, c'est-à-dire avant que les objectifs finals visés aient été atteints.

Compte tenu de ces circonstances, il se peut que les activités rattachées aux différents projets pour lesquels des contrats ont été accordés s'écartent considérablement des activités "futures" définies dans les rapports précédents.

ORGANISATION, ADMINISTRATION ET FINANCEMENT DU PROGRAMME

Le programme était subventionné en vertu du Programme national de l'énergie par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. L'administration technique du programme relevait du Conseil national de recherches du Canada et était assurée conjointement par les Divisions de l'énergie et de la chimie. L'organigramme ci-joint (p. 3) donne les éléments-clés de la structure d'administration.

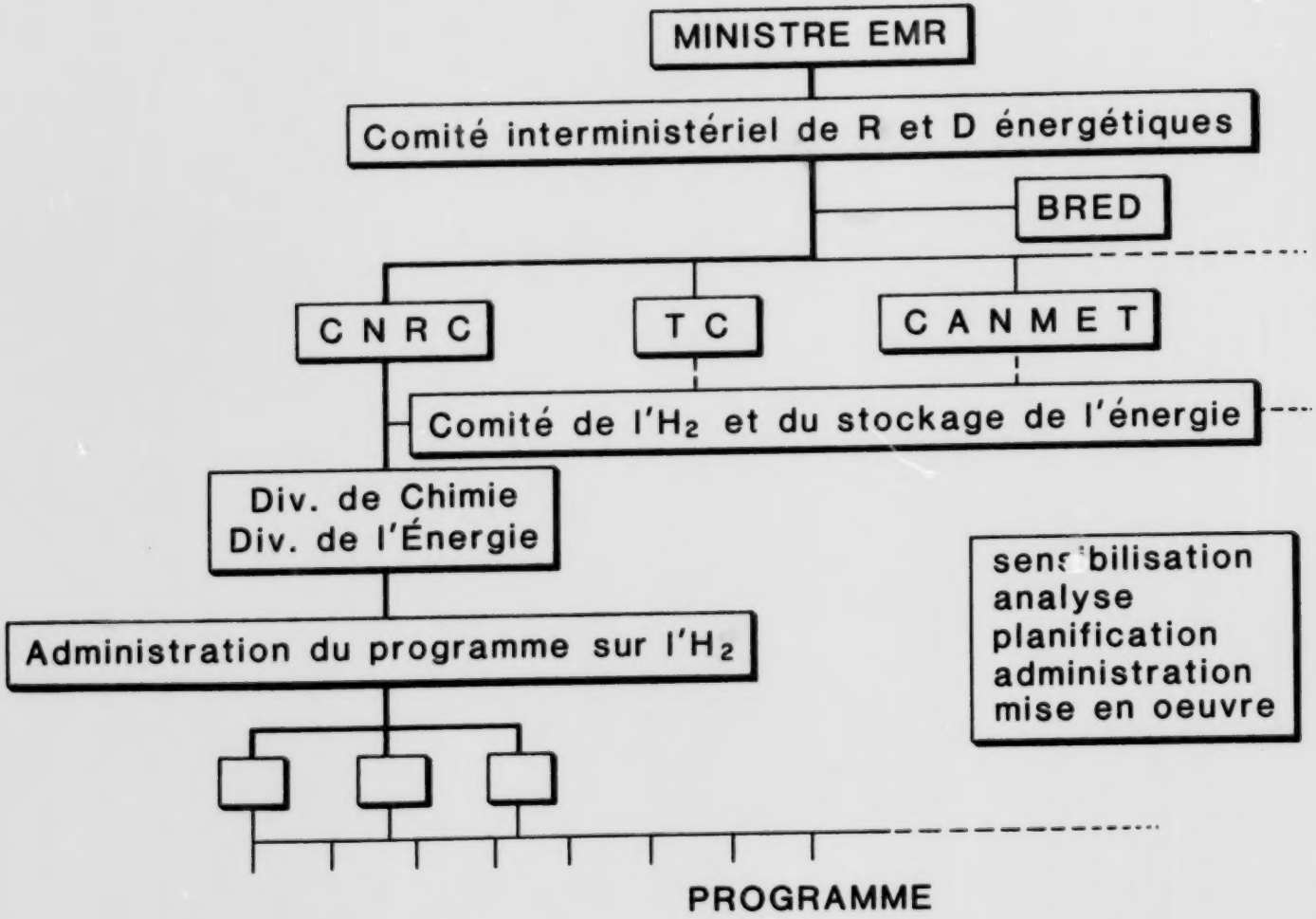
Il y avait deux niveaux d'autorité interministérielle officielle. Au niveau de l'exécution et de la planification, il y avait un comité qui établissait les priorités et les nouvelles orientations techniques. L'autorité suprême en ce qui a trait au financement et aux grandes politiques et orientations revenait à un comité interministériel principal appelé le Comité interministériel de recherche et développement énergétiques.

Le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie était l'un des nombreux sous-éléments du Programme de recherche et de développement énergétiques; il était désigné par programme 5.6. Chacun des autres sous-éléments du Programme de recherche et de développement énergétiques relevait de ministères particuliers. La liaison était réalisée entre les ministères qui avaient des activités en commun. Comme il y avait un grand nombre d'autres voies de financement de la R & D au Canada, ce ne sont pas tous les travaux pertinents qui étaient sous le contrôle du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. Il a donc fallu faire beaucoup d'échanges avec les organismes de financement afin d'éviter autant que possible la fragmentation des efforts, la duplication ou les conflits. Ces échanges ont été réalisés surtout sous forme de coopération informelle.

À noter aussi que le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie était essentiellement une activité dirigée et non une fonction d'adaptation au client et de subventionnement de ses activités. L'orientation du programme n'était évidemment pas établie de manière arbitraire, mais à partir d'un processus continu de consultation avec les ministères fédéraux et des organismes extérieurs.

Les nouvelles activités prévues dans le cadre du programme étaient annoncées régulièrement dans le bulletin de R & D d'Approvisionnements et Services Canada. Des listes de soumissionnaires étaient dressées et constamment mises à jour. Des demandes de propositions étaient émises par le ministère des Approvisionnements et Services et étaient par la suite évaluées par une équipe composée d'experts dans le domaine.

Le programme relevait directement des administrateurs de programme qui étaient tenus de préparer régulièrement des revues techniques et des rapports détaillés. On peut se procurer certains de ces rapports par le biais des services de prêts de la Bibliothèque scientifique nationale (ICIST). Sur le plan commercial, le caractère confidentiel de certaines activités interdit la diffusion générale de certains rapports. Toutefois, le présent condensé était publié chaque année dans les deux langues officielles par le Conseil national de recherches, et on peut se le procurer sur demande. Des rapports ont été publiés en avril 1982, 83 et 84. Le présent rapport est le dernier de la série.



ORGANIGRAMME DU PROGRAMME

5.6.1 SYSTÈMES À HYDROGÈNE

Beaucoup d'ouvrages ont été écrits sur des systèmes énergétiques de l'avenir qui feraient appel à l'hydrogène et à l'électricité produits à partir de sources énergétiques renouvelables ou inépuisables. De tels systèmes ne seront certainement pas utilisés de façon universelle, voire répandus, avant la fin du siècle prochain. Cependant, presque tous les pays, y compris le Canada, possèdent les ressources primaires nécessaires à l'exploitation de tels systèmes, et il est concevable qu'ils pourraient être mis en place à petite échelle avant la fin du siècle actuel. Toutefois, l'utilisation directe de l'hydrogène dans un système énergétique comporte actuellement des contraintes technologiques. Il n'existe aucun moyen simple de remplacer les combustibles existants par l'hydrogène, notamment les combustibles liquides dont dépend si fortement notre système de transport actuel. Il est peu probable que toute tentative d'adapter de force de telles applications à l'hydrogène donne des résultats acceptables. Historiquement, les systèmes énergétiques ont toujours été remplacés par des systèmes supérieurs, et non par des systèmes moins coûteux. Il n'y a aucun doute que l'hydrogène possède de nombreuses propriétés qui laissent croire à la mise au point éventuelle d'un système énergétique supérieur. L'objectif du présent programme est d'étudier, de mettre au point et d'évaluer des techniques qui pourraient contribuer à la réalisation d'un système énergétique à hydrogène. Une grande partie de ce travail ne fera qu'aider à élargir notre base de données et nos compétences techniques. Cependant, c'est sur cette base que doivent reposer les décisions futures. Sans de telles connaissances, il ne sera jamais possible d'élaborer une politique de mise en oeuvre sensée.

Même si la mise en application d'un système énergétique à hydrogène est retardée indéfiniment, il y aura sans doute une augmentation appréciable de la demande d'hydrogène qui représente déjà environ 2 % de notre consommation totale d'énergie. L'hydrogène est nécessaire à la fabrication de tous les hydrocarbures liquides et de tous les combustibles synthétiques. Il est aussi nécessaire à la fabrication de l'ammoniac destiné aux engrais dont dépend si étroitement la survie de notre planète. La plus grande partie de l'hydrogène provient actuellement de matières premières fossiles. On peut tout aussi bien le fabriquer par électrolyse de l'eau, et on peut donc en produire à partir d'une vaste gamme de sources d'énergie: énergie hydraulique, énergie marémotrice, énergie éolienne, énergie nucléaire, énergie solaire, etc. De nombreux pays, y compris le Canada, mettent au point des techniques efficaces de production à grande échelle d'hydrogène par électrolyse. Le présent programme permet d'aller encore plus loin dans la mise au point de ces techniques. Il est maintenant évident que dans certaines régions du Canada, l'hydrogène électrolytique entrera en concurrence avec l'hydrogène provenant de combustibles fossiles. En fin de compte, la tournure des événements dépendra des facteurs d'approvisionnement et de rentabilité, et quelle que soit la forme énergétique qui supplantera les autres, il est évident que le consommateur ne percevra aucun changement.

Ainsi, l'utilisation indirecte future de l'hydrogène contraste fortement avec les perspectives d'utilisation directe de l'énergie qui appelle de façon très évidente une technologie qui reste à mettre au point. Il ne convient toutefois pas de séparer les deux formes d'utilisation de l'hydrogène; il est de fait souhaitable d'adopter une vue systémique pour aborder l'ensemble du sujet que constitue

l'hydrogène. Ainsi, même s'il semble parfois que l'accent est mis sur des éléments particuliers, l'orientation générale du programme embrasse tout le spectre des besoins allant de la source primaire d'énergie jusqu'à l'appareil d'utilisation ultime, dans sa forme finale. Initialement, on prévoit que l'application réussie de l'hydrogène à de nouveaux secteurs se fera par l'identification de "créneaux" dans lesquels on peut tirer profit des caractéristiques particulières de l'hydrogène. Cette vue diffère de celle adoptée il y a sept ans seulement lorsqu'on croyait en général que la demande d'hydrogène bon marché serait énorme si l'on pouvait résoudre les problèmes relatifs à la rentabilité de la production.

5.6.1.1 PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ÉLECTROLYSE

Problématique : D'après les prévisions concernant les réserves canadiennes en énergie (notamment les importantes réserves d'énergie hydro-électrique et d'énergie nucléaire), il semble que l'électrolyse de l'eau soit la méthode la plus appropriée pour produire de l'hydrogène à partir de sources non fossiles au Canada.

Les électrolyseurs actuels n'ont pas été conçus pour répondre à des besoins aussi grands que ceux auxquels il faudra répondre, d'après les prévisions, lorsque les combustibles fossiles ne seront plus la principale source d'hydrogène. Il n'est possible d'atteindre le rendement actuel de 70 % pour la conversion de l'électricité en hydrogène qu'à de faibles densités de courant, ce qui suppose une capacité de production réduite des électrolyseurs et entraîne une mauvaise utilisation du capital et un coût élevé de l'hydrogène. Des prévisions d'une forte demande d'électrolyseurs peuvent stimuler la mise au point d'appareils de grande capacité ayant un rendement et une rentabilité optimaux. Plusieurs pays comptent mettre au point d'ici 1985 des modèles perfectionnés ayant des rendements de 85 % environ. Avec des électrolyseurs perfectionnés, il sera possible dans certaines régions du pays de produire de l'hydrogène à meilleur marché que celui produit par réformation à la vapeur du gaz naturel.

État des connaissances : Le Canada a concentré ses efforts sur l'amélioration d'un modèle unipolaire canadien dans le cadre d'un programme fédéral à frais partagés avec une coentreprise formée des sociétés Noranda et Electrolyser. L'Electrolyser Corp. est le seul grand producteur qui fait la promotion du modèle unipolaire. La

principale concurrence vient des modèles bipolaires, mais comme le fonctionnement des cellules dans les deux modèles est presque identique, la même démarche peut être appliquée aux deux modèles pour améliorer les composantes des cellules. Suit une liste des principaux fabricants étrangers d'électrolyseurs :

- Lurgi Co. - Allemagne
- Brown Boveri - Suisse
- Norsk Hydro - Norvège

Toutes ces entreprises sont réputées participer à des programmes d'électrolyseurs parrainés par le secteur privé. On trouve des programmes publics aux États-Unis, au Japon et dans les pays européens; une grande partie du travail est effectué sous forme de contribution nationale dans le cadre d'un accord de l'Agence internationale de l'énergie pour la recherche et le développement en matière de production d'hydrogène à partir de l'eau.

Au Canada, une partie des travaux sur la production d'hydrogène dans le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie a découlé de ce programme coopératif de l'AIE auquel la contribution canadienne est conforme, sans être confinée, aux exigences qu'impose le perfectionnement du modèle unipolaire.

Pour réduire au minimum le coût de production de l'hydrogène, il faut avant tout optimiser l'utilisation de l'énergie électrique et l'utilisation du capital. Dans la conception des cellules d'un électrolyseur, l'optimisation de ces deux paramètres peut se traduire par une réduction de la tension aux bornes de chaque cellule et par l'augmentation de la densité de courant, respectivement, ainsi que

par une augmentation de la durée utile des composantes. Les composantes des cellules qui se prêtent à la R & D et qui sont liées à ces paramètres sont les électrodes, le séparateur et l'électrolyte. Une conception perfectionnée d'un électrolyseur impose des contraintes sévères sur les matériaux dont sont constituées toutes ces composantes. L'emploi de matériaux nouveaux et de meilleure qualité est critique pour la réussite de ce programme.

ÉLECTRODES

La différence entre la tension minimale théorique et la tension réelle nécessaire pour produire du gaz autour d'une électrode est appelée la surtension. On peut réduire cette surtension par l'emploi de catalyseurs dépolarisants appropriés. Le choix des électrodes et des catalyseurs est dicté par les facteurs suivants : réduction de la surtension, faible résistance ohmique, capacité de supporter les fortes densités de courant et longue durée utile dans un électrolyte très corrosif. Compte tenu de ces facteurs techniques, les matériaux qui conviennent le mieux comme catalyseurs sont les métaux nobles et semi-nobles, mais le prix et la disponibilité de ces métaux interdisent leur utilisation à l'échelle gigantesque dont il est question.

CONTRAT CHOIX, PRÉPARATION ET CARACTÉRISATION D'ÉLECTROCATALYSEURS EN MÉTAL NON NOBLE POUR LA PRODUCTION D'OXYGÈNE

Institut de recherche industrielle de l'Atlantique - M.G.P. Wilson - commencé en 1979.

OBJECTIF Identifier, préparer et caractériser des électrocatalyseurs en métal non noble pour produire de l'oxygène par électrolyse de solutions alcalines.

RÉALISATIONS On a précédemment établi que des céramiques de perovskites ou d'oxydes apparentés constituent des catalyseurs anodiques éventuels. On a étudié quelques-uns des composés les plus prometteurs. On a identifié un problème majeur concernant le respect des exigences d'intégrité physique de ces dépôts sur de grandes surfaces et pendant des périodes assez longues pour réaliser l'électrolyse.

TRAVAUX EN COURS Des échantillons d'un électrocatalyseur particulier en céramique de perovskite ($La_{0.8}$ $Sr_{0.2}$ $Ni_{0.2}$ $Co_{0.2}$ O_3) ont été fabriqués à l'aide d'un procédé de séchage par pulvérisation. On a trouvé que la réaction complète des composants nécessitait un traitement thermique subséquent, à 1200 °C, suivi d'opérations de broyage et de tamisage qui annulent les avantages possibles du séchage par pulvérisation.

Des échantillons d'électrodes de tailles et de qualités diverses ont été fabriqués au moyen d'un procédé de pulvérisation de plasma qui permet de déposer la perovskite sur des substrats de nickel. On a été sérieusement limité par la difficulté de maintenir une vitesse d'alimentation constante en matériau pour la pulvérisation de plasma, ce qui se traduit par un manque d'uniformité dans le produit final, particulièrement sur les plus grandes surfaces des cellules de taille commerciale. On prévoit résoudre ce problème par l'utilisation d'un nouveau système d'alimentation en matériau qui sera mis sur le marché dans un proche avenir.

On a optimisé les nombreux paramètres de dépôt de plasma en vue de produire des couches adhérentes tout en conservant la composition chimique et la structure appropriées. On améliore l'adhérence en appliquant d'abord aux substrats de nickel un revêtement de collage commercial.

On a utilisé de petits échantillons d'électrodes pour les essais de stabilité chimique de 100 heures, réalisés dans du KOH, à 200 °C. On croit que les faibles pertes initiales de matériau sont dues aux constituants qui ne sont pas entrés en réaction ou à la "poudre pulvérisée en excès" qui n'a pas bien collé à l'échantillon. Dans les conditions d'essai d'électrolyse, des réductions de surtension de 115 mV ont été obtenues (par comparaison avec celles obtenues pour les substrats de nickel non revêtus) pendant une période d'essai de 100 heures.

De plus gros échantillons carrés de 15 cm de côté ont été mis à la disposition des participants suivants de l'annexe IV de l'AIE pour qu'ils en fassent l'essai :

Centre de recherche Noranda, Canada, C. Bowen;
SCK/CEN, Belgique, H. Vandenborre;
TH Darmstadt, Allemagne de l'Ouest, H. Hoffman

PERSPECTIVES D'AVENIR Un meilleur système d'alimentation en matériau permettant d'obtenir des revêtements uniformes sur les plus grandes surfaces requises serait nécessaire pour les échantillons destiné aux cellules d'essai de la Noranda, qui sont utilisés dans le cadre du présent programme.

CONTRAT MISE AU POINT DE CATALYSEURS À PLUSIEURS ÉLECTRONS

Université York - A.B.P. Lever et C.C. Leznoff -

Commencé en septembre 1984.

OBJECTIF Mettre au point des phthalocyanines binucléaires et polylnucléaire stables servant de base pour un catalyseur de réduction de l'oxygène à plusieurs électrons.

RÉALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS On a fait la caractérisation, par les spectres électroniques de micro-analyse et les spectres de masse, de nombreuses phthalocyanines binucléaires sans métal ainsi que de nombreux complexes de cobalt et de fer. On a préparé des complexes de cuivre. D'après les corrélations préliminaires, le degré d'activité catalytique augmente avec le degré de couplage.

SÉPARATEURS ET ÉLECTROLYTES POLYMÉRIQUES SOLIDES

SÉPARATEURS

Problématique : Le rendement électrique de l'électrolyse augmente avec la température parce que la tension de cellule requise diminue de 5 mV/°C. Un autre avantage d'une température de fonctionnement plus élevée est la moins grande nécessité de catalyseurs coûteux. Une des limites qui interdit une température de fonctionnement trop élevée est la stabilité chimique et mécanique des substances séparatrices dans le rude milieu des solutions fortement alcalines. Une température de fonctionnement élevée appelle aussi une pression de fonctionnement élevée de façon à empêcher l'ébullition de l'électrolyte liquide. Il semble que la structure de l'électrolyseur bipolaire convient mieux à un fonctionnement à pression élevée que celle des cellules unipolaires.

État des connaissances : Les séparateurs classiques sont des tissus d'amiante qui se dégradent dans les fortes solutions caustiques au-dessus de 90 °C. Différentes substances à l'étude comme séparateurs améliorés dans les électrolyseurs perfectionnés ont été retenues à la suite du programme de l'AIE. Ce programme a permis un échange considérable d'information et de substances. On ne peut évaluer les réalisations du secteur privé car elles ne sauraient être divulguées pour des raisons commerciales.

ÉLECTROLYTE POLYMÉRIQUE SOLIDE (EPS)

Problématique : L'électrolyseur à électrolyte polymérique solide (EPS) est une version perfectionnée de l'électrolyseur bipolaire, sauf que les fonctions d'électrolyte et de séparateur sont cumulées par la même substance. Cela permet de réduire la séparation des électrodes, donc de diminuer la résistance des cellules; en contrepartie, la construction des cellule est rendue plus difficile (à cause des tolérances plus faibles à observer) et les coûts d'entretien sont plus élevés. On prévoit actuellement que les versions perfectionnées des électrolyseurs unipolaire, bipolaire et à EPS pourront produire de l'hydrogène à des prix comparables, de sorte que toute amélioration d'un des types d'électrolyseur lui donnerait un avantage sur les autres modèles concurrentiels. L'électrolyseur à EPS pourrait être amélioré si son électrolyte était peu coûteux et avait une grande résistance physique, une grande stabilité chimique et une forte conductivité ionique.

État des connaissances : Le principal fabricant d'électrolyseurs à EPS était General Electric - USA qui utilisait une substance conductrice d'ions hydrogène appelée "nafion" et mise au point par Dupont. Cette activité a récemment fait l'objet d'une vente à l'United Technologies USA. Il faut souligner que la société belge COBELCON a mis au point et appliqué dans des électrolyseurs bipolaires perfectionnés un autre type de membrane inorganique à base d'acide antimonique qui est très efficace. On fera bientôt la commercialisation de ce produit. Toutes les membranes actuellement disponibles sur le marché sont des composés perfluorés dont la résine contient des groupements sulfonates et(ou) carboxylates. Quatre

grands fabricants (3 japonais et 1 américain) se disputent l'énorme marché de ces substances dans l'industrie des chloro-alcalis. Dans cette application, les électrolytes polymériques solides servent de conducteurs d'ions sodium. Cependant, dans l'électrolyse de l'eau, leurs caractéristiques acides imposent l'emploi de catalyseurs en métal noble qui ne sont pas requis dans les systèmes alcalins classiques. G.E. et le Japon ont eu beaucoup de succès avec leurs cellules à des échelles relativement petites. Bien que ces cellules soient disponibles depuis plusieurs années, aucun modèle commercial plus gros qu'un appareil de laboratoire n'a été commercialisé. On considère que le principal obstacle est le coût élevé de la substance séparatrice.

On a suggéré d'utiliser des ionomères aromatiques comme électrolytes polymériques solides. Ces substances font l'objet d'une étude menée en collaboration par trois entrepreneurs dans le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. On prévoit qu'elles seront aussi utilisées dans des accumulateurs, des piles à combustible et d'autres dispositifs électrochimiques nouveaux.

CONTRAT PRÉPARATION, CARACTÉRISATION ET MISE AU POINT DE MEMBRANES EN IONOMÈRES AROMATIQUES DESTINÉES À LA PRODUCTION ÉLECTROLYTIQUE D'HYDROGÈNE

Université McGill - A. Eisenberg -
commencé en mai 1980.

Daychem Labs. Inc. - F. Harris -
commencé en mai 1980.

Université de Calgary - H. Yeager -
commencé en juin 1980 et terminé en septembre 1984.

Ballard Technologies Corporation - K. Prater -
commencé en septembre 1984.

OBJECTIFS 1. Synthèse d'ionomères aromatiques et étude d'autres méthodes de production moins coûteuses. (Daychem).

2. Fabrication d'échantillons d'ionomères préparés en 1 et évaluation de leurs propriétés mécaniques (McGill).

3. Essai de membranes : mesure des propriétés d'hydrosorption, de conductance électrique et de transport ionique d'échantillons de membranes (Calgary/Ballard).

RÉALISATIONS Les premiers résultats de ce programme montraient qu'il est possible de produire des polyphénylènes phénylés portant un groupement alkoxycarbonyle, qui sont des ionomères aromatiques, avec les caractéristiques techniques requises des électrolytes polymériques solides conducteurs d'ions. Les conductivités indiquées étaient supérieures à celles du nafion. La résistance aux solutions alcalines à

haute température était très bonne. On a confirmé que la faible résistance requise de ces polymères agissant comme éléments séparateurs était reliée à leur nature microporeuse et hydrophile.

TRAVAUX EN COURS On a essayé d'améliorer le procédé de façon à réduire la difficulté (et le coût) de fabrication, en explorant de nouvelles voies pour la production d'intermédiaires dans le procédé de synthèse. Deux systèmes qui sont actuellement à l'étude sont les carboxylates aromatiques polyphénylés et les cyanopolyquinoxalines. L'augmentation de l'échelle jusqu'à la production de quantités de l'ordre du kilogramme a été réalisée pour le 4,4'-oxydibenzile qui est un élément intermédiaire dans la production de l'oxyde de polyphénylène et de la polyphénylquinoxaline (PPQ). On a aussi augmenté l'échelle de synthèse du monomère de biscyclopentadiénone, et on peut maintenant préparer des quantités suffisantes de précurseur de l'ionomère d'oxyde de polyphénylène de masse équivalente 600 pour produire une pellicule de 0,38 m^2. Cette pellicule a une structure poreuse récemment mise au point qui, dans les essais à plus petite échelle, a donné une conductivité comparable à celle de la solution et une conductivité spécifique inférieure seulement d'un facteur de deux à celle de la solution d'électrolyte correspondante. On a aussi préparé des pellicules renforcées en utilisant comme matériaux de support une armure de PTFE et une toile de nickel. L'échantillon de grande taille est maintenant prêt à être mis à l'essai dans le cadre du projet de cellule d'essai de la Noranda.

Des composés cyano précurseurs d'ionomères de PPQ ont été préparés dans une gamme de masses équivalentes de 400 à 1400, et des groupements polymérisables ont été ajoutés à certains afin de permettre la réticulation thermique. Les essais préliminaires montrent que les matériaux à base de PPQ sont plus forts que les polyphénylènes phénylés. On essaie actuellement de réaliser la coulée à haute température des ionomères de polyquinoxaline.

Le 30 septembre 1984, les travaux de mise à l'essai des membranes, qui étaient auparavant effectués par l'université de Calgary, ont été pris en charge par la Ballard Technologies. Ce changement de contractant est la première étape vers le transfert de cette technologie à une industrie canadienne. L'université de Calgary continuera de participer au projet, mais de façon moins active, en vertu d'un sous-contrat avec la Ballard.

En vertu d'un autre contrat dont il est question à la page 76, les matériaux produits à la suite de ces travaux seront aussi évalués par la Ballard en vue de déterminer s'ils peuvent être utilisés dans les piles à combustible à électrolyte polymérique solide.

PERSPECTIVES D'AVENIR Si le Canada réussissait à mettre au point des électrolytes polymériques solides peu coûteux, il prendrait toute une longueur d'avance dans le domaine des électrolyseurs perfectionnés de l'avenir. Les efforts devraient porter sur l'optimisation de la présente membrane qui ne convient toutefois pas comme électrolyte polymérique solide pour l'électrolyse de l'eau car l'ion

hydrogène est trop fortement lié au groupement carboxylate. Des recherches futures pourront être axées sur le remplacement du groupement carboxylate par un groupement acide sulfonique. Une solution encore plus tentante consisterait à mettre au point une membrane polymérique qui contiendrait un groupement cation fixe, lequel pourrait facilement échanger l'ion hydroxyde. Quoique cette tâche soit plus délicate, un tel électrolyte polymérique solide pourrait devenir la base d'un électrolyseur d'eau ou d'une pile à combustible hydrogène-oxygène (air) perfectionnés.

CONTRAT MISE AU POINT DE MEMBRANES POLYMÉRIQUES COMME ÉLECTROLYTES SOLIDES POUR L'ÉLECTROLYSE DE L'EAU ALCALINE

Université Carleton - J. ApSimon
Division de chimie du CNRC - O. Kutowy -
commencé en septembre 1980.

OBJECTIF Établir la relation entre les caractéristiques structurales de certains polymères et leur résistance à l'hydrolyse en milieu alcalin. Synthétiser et modifier des polymères connus, ainsi que fabriquer et évaluer des membranes.

RÉALISATIONS Les travaux précédents ont suscité un intérêt pour les polymères à base de polysulfones préparés par condensation de divers monomères de bisphénol contenant des groupements carboxylates avec des co-monomères de sulfone aromatique halogéné. On a étudié la position du groupement acide en différents points de la chaîne en vue d'évaluer son

effet sur la résistance à la décarboxylation ou à la scission de la chaîne principale, ou aux deux.

On a mis au point une méthode pour neutraliser les groupements terminaux réactifs de la chaîne polymérique qui semblaient influer sur la résistance globale du polymère à l'hydrolyse en milieu alcalin.

TRAVAUX EN COURS Une étude en cours portant sur une nouvelle série d'ionomères permettra éventuellement de modifier des polymères disponibles sur le marché de façon à obtenir des substituts ioniques par une méthode relativement simple qui pourrait être adaptée à une synthèse à grande échelle.

PERSPECTIVES D'AVENIR Les détails de cette méthode et les structures de ces polymères modifiés ne seront pas divulgués tant qu'ils ne seront pas protégés par une brevet.

ÉLECTROLYSE DE LA VAPEUR D'EAU DANS UN ÉLECTROLYTE SOLIDE

Problématique : Un électrolyseur qui fonctionnerait à une température plus élevée que les électrolyseurs alcalins perfectionnés afficherait une surtension moindre et n'utiliserait pas de catalyseurs d'électrodes coûteux, de sorte qu'il présenterait une efficacité de conversion plus grande et nécessiterait un investissement moindre. Ces avantages sont toutefois compensés par une difficulté plus grande à produire des substances ayant les qualités requises à haute température. Un élément clé dans la mise au point d'électrolyseurs de vapeur d'eau à haute température est l'emploi d'un électrolyte/séparateur solide conducteur d'ions. Pour les températures envisagées, il doit s'agir d'une céramique.

État des connaissances : Certains programmes de mise au point d'électrolyseurs à haute température (exemple : Westinghouse USA) sont axés sur des conducteurs d'ions oxygène en céramique tels que les oxydes d'yttrium et de zirconium stabilisés, lesquels doivent fonctionner à des températures de l'ordre de 800 à 1000 °C pour que la conductivité ionique soit suffisante. En Allemagne, on a mis au point un système similaire. Le programme canadien est axé sur des conducteurs d'ions hydrogène qui peuvent assurer une conduction ionique adéquate à des températures inférieures comprises entre 300 et 400 °C. La température de fonctionnement peu élevée se traduit par un différent équilibre entre les avantages éventuels et les problèmes de mise au point d'une substance particulière par rapport aux avantages et problèmes inhérents aux systèmes fonctionnant à haute température.

Un autre stimulant pour la mise au point de conducteurs d'ions solides fonctionnant à température modérée est leur emploi éventuel dans d'autres dispositifs électrochimiques, notamment l'emploi de β-alumines sodiques comme électrolytes dans des piles perfectionnées au sodium/soufre et l'emploi de conducteurs d'ions hydrogène dans des piles à combustible. La dégradation des électrolytes en conditions normales de fonctionnement est un problème majeur qu'il faut résoudre avant d'utiliser ces électrolytes dans des appareils commerciaux. Même si le Canada ne dispose d'aucun programme de production d'accumulateurs au Na/S, il a développé des compétences et des capacités dans la fabrication du matériau séparateur β"-alumine sodique (qui est un constituant essentiel de ces accumulateurs) par le biais de travaux sur les conducteurs d'ions hydrogène en céramique.

CONTRAT CHOIX, PRÉPARATION ET CARACTÉRISATION DE CONDUCTEURS D'IONS HYDROGÈNE EN CÉRAMIQUE.

Université Queens - M. Sayer -
Université McMaster - P. Nicholson
commencé en mars 1979.

OBJECTIF Le but général de ce programme est de mettre au point des électrolyseurs de vapeur d'eau peu coûteux et très efficaces pour produire de l'hydrogène. Ce travail s'inscrit en outre dans le cadre de la participation du Canada à l'accord sur la mise en valeur de l'hydrogène de l'Agence internationale de l'énergie.

RÉALISATIONS Dans la première phase de ce contrat, on a déterminé que l'hydronium de β"-alumine est un système céramique ayant des caractéristiques prometteuses de conduction ionique, et on a démontré qu'on pouvait réaliser des conductivités acceptables. On a étudié l'évolution des phases pendant la calcination et le frittage, lors de la production d'hydronium de β"-alumine. On a évalué l'effet des ions stabilisateurs de magnésium et de lithium, des ions potassium excédentaires et d'une variation du rapport ionique sodium/potassium dans la matière première sur la fraction finale du contenu de la phase β et sur la densité de l'hydronium de β"-alumine produit. Les conditions nécessaires pour maintenir une forte concentration de la phase β" et pour obtenir une densité élevée après le frittage ont été optimisées en vue de la préparation d'hydronium de β"-alumine de haute densité (93 % en théorie).

On a continué d'élaborer la théorie de la percolation d'alcalis mixtes (PAM), on l'a vérifiée expérimentalement et on l'a appliquée. Cette théorie permet une description des propriétés de conduction de l'échange d'ions alcalis mixtes en phases mixtes qui à son tour permet de déterminer les caractéristiques du matériau requises pour un rendement satisfaisant et par conséquent de choisir les méthodes appropriées de fabrication commerciale.

On a conçu des étapes de pré-échange afin d'optimiser le processus d'échange ionique pour produire de l'hydronium de β"-alumine polycristallin fort. Lorsqu'on remplace la bonne quantité d'ions sodium de la matière première par des ions potassium, le réseau cristallin se

dilate pour permettre le remplacement subséquent non destructif par l'analogue hydronium. On a étudié deux méthodes d'échange de l'ion hydronium : acide concentré à température élevée et échange assisté dans de l'acide dilué à la température de la pièce.

On a fait une évaluation plus poussée des possibilités d'utilisation du silicate de sodium et yttrium (NYS) et du silicate de sodium et gadolinium (NGS) comme conducteurs d'ions hydronium tridimensionnels polycristallins. On doit utiliser des matières premières plus coûteuses, mais cet inconvénient peut être compensé par des conditions de fabrication plus souples et une résistance électrique plus faible. On a produit des analogues hydronium de ces matières premières afin d'évaluer leur conductivité par ions hydronium en incluant une étape d'échange d'ions potassium intermédiaires comme dans la production d'hydronium de β"-alumine.

TRAVAUX EN COURS On a effectué une étude approfondie des paramètres de traitement afin de permettre la reproductibilité et d'assurer la fiabilité du produit sur une base régulière. On a examiné les produits chimiques et les techniques de mélange. On a étudié l'effet sur la superficie du matériau de différents paramètres associés au procédé de congélation par pulvérisation/lyophilisation. On a optimisé la période de broyage par boulets afin d'obtenir une superficie maximale. On a mesuré les effets de la taille du creuset, de la température et de la durée de la calcination ainsi que de l'absorption d'eau sur le produit en poudre. Des études de frittage ont été effectuées en vue d'optimiser les cycles de chauffage de façon à obtenir une faible fraction "β" tout en conservant de bonnes propriétés mécaniques.

Les travaux de mise au point des cellules ont permis leur utilisation jusqu'à 180 °C, et on prévoit qu'il sera possible d'atteindre des températures de l'ordre de 300 °C avec le modèle actuel. À l'étape actuelle de la mise au point, l'efficacité est limitée en raison de certains problèmes associés aux composants autres que l'électrolyte, c.-à-d. la corrosion et la détérioration des joints étanches et des collecteurs de courant.

Suite à des discussions avec une société fabriquant des céramiques commerciales, concernant le transfert à court terme de cette technologie à l'industrie canadienne, un ingénieur de la société a été envoyé au laboratoire des céramiques de l'université McMaster pour se familiariser avec les techniques de traitement. On étudie présentement une application possible de la céramique d'hydronium de β-alumine pour la détritiation de l'air.

PERSPECTIVES D'AVENIR Les travaux devraient être axés sur la mise au point de cellules électrolytiques fonctionnelles à disque et à tube, ainsi que sur une augmentation éventuelle d'échelle dans le but d'évaluer la stabilité des matériaux dans des conditions réelles de fonctionnement.

INSTALLATIONS D'ESSAI

Problématique : Les densités de courant, les tensions et la durée utile des électrodes et des séparateurs sont des paramètres déterminants de rentabilité de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. À mesure qu'on perfectionne les cellules pour augmenter l'efficacité de conversion de l'énergie, leur prix augmente et la durabilité des composantes devient un facteur de plus en plus important. On essaie les matériaux et les composantes à petite échelle pendant la phase de mise au point en laboratoire, mais pour passer du laboratoire à une production commerciale sans perte de rendement, il faut soumettre des composantes grandeur réelle à des essais à long terme. En utilisant toujours un même centre, on s'assure que les méthodes d'essai sont appliquées de façon uniforme, ce qui permet de comparer directement des résultats obtenus pour différents matériaux. De plus, on ne débourse qu'une fois le prix d'un appareil d'essai à grande échelle.

CONTRAT ESSAI DE SÉPARATEURS ET D'ÉLECTROCATALYSEURS POUR DES CELLULES D'ÉLECTROLYSEUR

Centre de recherche Noranda - R. LeRoy -
commencé en mai 1979.

OBJECTIF Construction et exploitation d'une installation expérimentale d'électrolyse de l'eau alcaline pour fins d'évaluation à long terme de séparateurs et de catalyseurs pour électrodes, avec une capacité suffisante pour que les résultats soient directement applicables à du matériel d'électrolyse commercial.

RÉALISATIONS On dispose actuellement de six cellules complètes pour l'essai des matériaux, et elles ont des courants nominaux de 3000 A sur des surfaces actives de 0,27 m^2. Quatre de ces cellules sont du type cylindrique original et les deux plus récentes sont du type à cadres et à plateaux. On fait mention ci-dessus d'une cellule additionnelle de plus petite taille.

On continue les essais de matériaux produits dans le cadre de contrats et de matériaux fournis par d'autres participants aux programmes de l'AIE.

TRAVAUX EN COURS On a fait des évaluations des catalyseurs pour cathodes Ni-Cr-B et Ni-Co-Cr-P sur des substrats de nickel produits par la Gould Manufacturing of Canada Ltd. Les résultats étaient similaires à ceux obtenus antérieurement avec des cathodes à support en acier inoxydable et avec le même matériau d'activation. Aucun de ces matériaux n'a donné un niveau de rendement comparable à celui d'une cathode brevetée de l'Electrolyser Inc., désignée par NE-C-20. L'addition de silicate à l'électrolyte (un traitement visant à réduire la détérioration du séparateur d'amiante dans le KOH) n'a pas produit d'effets nuisibles sur ce dernier matériau pour cathodes.

Des essais plus poussés du séparateur en PTFE imprégné de titanate de potassium (Japon) ont montré une réduction de la pureté de l'oxygène produit, accompagnée d'une déformation du diaphragme qui semblent associées aux longues périodes de fonctionnement en circuit ouvert.

Les surtensions d'anode extrêmement faibles qu'on affirmait précédemment obtenir avec les anodes de nickel-acier inoxydable aspergées de plasma semblent attribuables au matériau qui est lessivé à la cathode et qui favorise l'opération de la même façon que les additifs électrolytiques.

Des catalyseurs aspergés de plasma ont été préparés, en vertu d'un sous-contrat, par le Sherritt-Gordon Resarch Centre de Fort Saskatchewan (Alberta). Les cathodes de NiAl (50/50 et 40/60) aspergées de plasma, dont l'aluminium est lessivé, ont donné d'excellentes surtensions exemptes de chute ohmique pendant les essais de polarisation préliminaires, mais il n'en a pas été de même dans les expériences d'exploitation continue. Les anodes de Ni-acier inoxydable (90/10) aspergées de plasma ont donné des surtensions impressionnantes bien que légèrement supérieures à celles signalées précédemment.

On a commencé une étude en vue d'évaluer l'effet sur la résistivité d'une cellule de l'écart entre le séparateur et les électrodes. Une nouvelle cellule a été construite à cette fin; elle a une plus petite surface active (25 cm^2) et elle permet une application additionnelle pour la pré-évaluation de matériaux qui ne sont pas disponibles en quantités suffisantes pour les cellules de 3 kA.

PERSPECTIVES D'AVENIR Voici une liste d'autres matériaux qui sont prêts à être mis à l'essai :

- feutres de polysulfone mis au point dans le cadre du présent projet
- diaphragmes d'oxyde de nickel fournis par M. Divisek, Juelich (RFA)
- amiante imprégné de polymère, fourni par le professeur Guiffrè, Milan (Italie)
- amiante de qualité commerciale fourni par l'Electrolyser Corp. Ltd., Toronto (Canada)
- matériau pour diaphragme mince breveté, de la Raychem Ltd., Swinden (Grande-Bretagne)
- ionomère aromatique mis au point dans le cadre du Programme canadien de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, fourni par E. Besso, Montréal (Canada)

Les matériaux pour lesquels des demandes d'essai ont été présentées comprennent :

- des échantillons d'électrocatalyseur mis au point par le groupe du professeur Tseung à la City University et produits à une plus grande échelle par l'Inco Alloy Products Ltd., à Birmingham (R.-U.)
- un séparateur en PTFE de faible résistance mis au point par le professeur Teschke, université de Campinas (Brésil).

5.6.1.2 NOUVELLES TECHNIQUES

ÉLECTROLYSE

Même si l'électrolyse de l'eau est une technique établie de production d'hydrogène, le matériel disponible dans le commerce ne peut produire, à l'échelle où on le prévoit, de l'hydrogène à un coût abordable. Les progrès récents réalisés dans le domaine des électrolyseurs, tant au Canada qu'à l'étranger, visent à résoudre ce problème. Même si certains aspects de la recherche et du développement en matière d'électrollyse s'inscrivent dans d'autres parties du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, il faudrait canaliser ces avenues de recherche en une activité de développement technique de systèmes.

On fait les premières recherches sur de nouvelles techniques à une petite échelle de laboratoire pour en prouver la faisabilité. Avant d'envisager l'aménagement de véritables usines commerciales, il faut augmenter progressivement l'échelle, établir des méthodes rentables de production, optimiser les conditions de fonctionnement, effectuer des études de durabilité et établir les conditions et les coûts de fonctionnement. Pendant toutes ces étapes qui se chevauchent, la recherche et le développement constituent un facteur déterminant pour la réussite du produit fini sur le plan commercial.

On ne peut évaluer définitivement un nouveau système qu'en observant comment il fonctionne sur le plan commercial, de sorte qu'il faut procéder à des essais dans des conditions qui peuvent simuler la réalité aussi fidèlement que possible à un

coût minimal. En raison de la conception modulaire des cellules électrolytiques en voie de développement, l'essai judicieux d'un petit nombre de modules pleine grandeur peut fournir des données très fiables sur l'aménagement éventuel d'installations commerciales de grande échelle et constituer une base d'essai en vue de l'amélioration des systèmes et des composantes qui sont en évolution constante.

CONTRAT MISE AU POINT D'ÉLECTROLYSEURS UNIPOLAIRES PERFECTIONNÉS ET RÉCUPÉRATION RENTABLE DE L'EAU LOURDE SECONDAIRE

Mines Noranda Ltée / The Electrolyser Corporation - R. LeRoy - commencé en mai 1983.

OBJECTIF Mener un programme de recherche, de développement et d'étude technique concernant les possibilités de perfectionnement technique des électrolyseurs identifiés lors de travaux effectués dans le cadre d'un précédent programme.

RÉALISATIONS De nouvelles possibilités de recherche et de développement ont été identifiées à la suite d'un programme de 6 ans qui vient de se terminer; ce programme a été réalisé en collaboration avec les Mines Noranda Ltée et l'Electrolyser Corporation sous l'égide du ministère de l'Industrie et du Commerce. Voici les résultats de ce programme :

1. Installation de trois cellules d'électrolyse améliorées de 100 kA à l'échelle réelle pour fins d'essai au Centre de recherches d'Hydro-Québec, à Varennes. Le degré de perfectionnement de ces cellules est dit de génération I et découle de la modification d'un matériel commercial éprouvé.

2. Mise au point d'un nouveau procédé de récupération de l'eau lourde produite par les gros électrolyseurs d'eau.

3. Identification d'une série de nouvelles avenues en technologie des électrolyseurs.

TRAVAUX EN COURS Le programme à frais partagés d'une durée de deux ans et demi porte sur les points suivants :

- Commercialisation de catalyseurs
- Mise au point d'un séparateur en vue de son évaluation dans une cellule de 100 kA
- Recommandation d'un modèle pour une usine d'électrolyse de 100 MW.
- Installation de deux cellules optimisées de 100 kA pour fins d'essais à l'usine de Varennes.
- Installation et essai d'un prototype perfectionné de génération II de 7,2 kA et évaluation du concept de génération II.

L'élaboration des plans techniques a été réalisée en collaboration avec les Laboratoires de Chalk River d'Énergie atomique du Canada. Elle visait à définir les principaux composants du matériel et paramètres de traitement d'une usine commerciale grandeur réelle de récupération d'eau lourde par échange catalytique et électrolyse combinés (ECED). La validation de base du procédé a été réalisée en 1984 sur l'unité pilote d'une capacité de 500 pieds cubes étalons par heure du Centre de recherche Noranda. On ne peut pour l'instant divulguer d'autres informations sur le procédé, étant donné leur caractère confidentiel.

PRODUCTION THERMOCHIMIQUE D'HYDROGÈNE

Problématique : Même si l'électrolyse de l'eau est la seule méthode commerciale de production d'hydrogène à partir de combustibles non fossiles, il existe théoriquement d'autres méthodes qui pourraient convenir dans des pays où le coût de l'électricité interdit l'utilisation d'électrolyseurs. Les cycles thermochimiques de l'hydrogène, même ceux qui comportent une cascade d'étapes, font intervenir d'énormes quantités de chaleur à haute température. On peut théoriquement procéder à des températures inférieures en augmentant le nombre d'étapes dans le cycle, mais au prix d'un processus plus complexe et plus coûteux. La décomposition directe de l'eau par la chaleur, sans conversion intermédiaire en électricité, demeure un défi qu'il est tentant de relever.

État des connaissances : Différents cycles chimiques ont été mis au point et évalués aux États-Unis, au Japon et en Europe; la plupart d'entre eux sont limités à 3 ou 4 réactions, les températures maximales étant atteintes au moyen de concentrateurs solaires ou de réacteurs nucléaires à haute température. Comme aucune de ces sources thermiques n'est disponible au Canada, les Canadiens y trouvent peu d'intérêt. On a estimé que le prix de l'hydrogène provenant de certains cycles de production thermochimique pourrait concurrencer celui de l'hydrogène produit par l'électrolyse de l'eau, notamment là où le coût de l'électricité est élevé, et des sources appropriées de chaleur à haute température, disponibles. Plusieurs cycles ont été démontrés en fonctionnement continu à l'échelle du laboratoire, tandis qu'il subsiste un intérêt marqué dans le monde en ce qui a trait en particulier aux cycles utilisant la chaleur à haute

température produite par la concentration du rayonnement solaire. Les principaux cycles thermochimiques de décomposition de l'eau en hydrogène et en oxygène sont les procédés dits de la famille du soufre, dans lesquels l'étape la plus courante et la plus difficile est la réaction de décomposition de l'acide sulfurique en dioxyde de soufre, en oxygène et en eau.

CONTRAT PRODUCTION THERMOCHIMIQUE D'HYDROGÈNE

Energy Research Corp. - E. Bilgen -
commencé en 1978.

OBJECTIF Assumer une fonction d'acquisition, de diffusion et d'analyse de l'information sur les activités internationales dans le domaine de la production thermochimique de l'hydrogène, en s'intéressant sans arrêt à la documentation et aux conférences sur le sujet.

Tenir continuellement à jour une base de données sur les cycles thermochimiques.

RÉALISATIONS Des rapports sur les progrès réalisés dans le domaine de la production thermochimique d'hydrogène ont été préparés pendant plusieurs années. Une partie des subventions est consacrée aux activités menées à forfait dans ce domaine : problèmes d'interfaçage avec des sources de haute température, forme des mécanismes de transfert de chaleur et conditions de séparation chimique. Une impression de

compétence éprouvée doit se dégager de la recherche active pour maintenir la crédibilité et l'accès aux activités internationales. On a terminé une étude économique sur la production d'hydrogène à l'aide d'énergie solaire recueillie dans un récepteur central, combinée au procédé thermochimique à cycle soufre-iode General Atomic. On estime que le coût de production d'hydrogène par ce procédé se situe entre 60 et 120 dollars par GJ d'hydrogène.

TRAVAUX EN COURS Le travail d'analyse a été axé sur le procédé Cristina qui a été exploité à Ispra (Italie) dans le cadre d'une activité financée par les communautés européennes. Ce procédé décompose l'acide sulfurique à haute température par échange thermique entre un gaz et un liquide en contact direct, éliminant ainsi un grand nombre de problèmes épineux de matériaux. Le procédé est très important car il peut être combiné à n'importe quel des procédés basés sur la famille du soufre auxquels on accorde actuellement le plus d'intérêt.

Plus récemment, on a étudié une version modifiée du procédé Cristina qui conserve les avantages du premier procédé mais qui utilise l'oxygène à la place de l'air naturel comme vecteur. On prévoit un accroissement théorique de l'efficacité du procédé ainsi qu'une réduction du coût d'immobilisation attribuable à l'élimination du système de récupération de la chaleur et du turbocompresseur. Dans la nouvelle version du

procédé, on n'utilise plus l'atmosphère comme réservoir, de sorte qu'on élimine une source éventuelle de pollution de l'environnement.

PERSPECTIVES D'AVENIR On prévoyait que cette activité se poursuivrait à son niveau actuel.

PETITS GÉNÉRATEURS D'HYDROGÈNE

Problématique : Un aspect des systèmes à hydrogène auquel on a accordé peu d'attention est le nouveau matériel de production à petite échelle. Les petits systèmes qu'on fabrique actuellement servent à une gamme d'application non énergétiques, liées aux propriétés chimiques et physiques uniques de l'hydrogène. Les domaines d'application projetés comprennent entre autres la production d'hydrogène dans des endroits éloignés à partir de sources énergétiques renouvelables intermittentes comme l'énergie éolienne, l'énergie photovoltaïque solaire et l'énergie hydroélectrique produite à petite échelle. Les petits systèmes doivent avoir les mêmes caractéristiques que les gros systèmes : rendement élevé, densité de courant élevée, longue durée et prix modeste. Un fonctionnement autonome ajoute des contraintes techniques, tandis qu'un fonctionnement à haute pression serait souhaitable pour faciliter le stockage sans compression mécanique.

État des connaissances : Le principe de l'électrolyseur d'eau à alimentatiaon fixe de Life Systems, qui est très simple en soi, a été reconnu comme une avenue prometteuse de développement. Ce système a été originalement conçu comme système autonome de vie, producteur d'oxygène, dans le cadre du programme spatial américain. Sous l'égide du ministère de l'Environnement, les Brookhaven National Laboratories ont mis sur pied avec Life Systems un programme visant à démontrer les capacités de production massive d'hydrogène de ce système. Une étude récente de la NASA (Life Systems Inc. et United Technology Corp. (UTC)) a porté sur un système de stockage de l'énergie dans une pile à combustible rechargeable, composé

d'un électrolyseur Life Systems et d'une pile à combustible UTC. L'électrolyseur Life Systems est essentiellement un système alcalin unipolaire et pourrait donc tirer profit des progrès réalisés dans le domaine de l'électrolyseur alcalin dont le développement est déjà prévu dans le programme canadien de l'hydrogène. Le principe d'une alimentation fixe en eau se distingue par la simplicité de l'alimentation qui est effectivement autorégularisée et qui tolère des concentrations élevées d'impuretés dans l'eau.

CONTRAT SYSTÈME D'ÉLECTROLYSE DE À ALIMENTATION FIXE DE 5 kW

Division de chimie du CNRC/Life Systems Inc. - F. Schubert - commencé en avril 1982.

OBJECTIF Un système d'électrolyse de l'eau à alimentation fixe a été loué de Life System Inc. en vue de procéder aux essais nécessaires pour évaluer la capacité du sytème ainsi que ses possibilités de modification pour en faire un véritable générateur d'hydrogène autonome de petit format pour des fins de production d'énergie.

RÉALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS Le fabricant a étudié les problèmes d'exploitation qui se sont présentés pendant une première année de location, et un système de remplacement perfectionné a été livré pour fins d'essai en octobre 1983. Ce nouveau système comprendrait un module haute pression de douze cellules fonctionnant à une pression absolue de 180 lb/po^2 qui a été installé à la Division de chimie du CNRC à Ottawa.

Les essais ont été dirigés par J.B. Taylor et M. Hammerli. À la fin de la période de location, le système a été retourné au fabricant.

PERSPECTIVES D'AVENIR Le rendement de ce type de système d'électrolyse obtenu pendant la période d'essai de deux ans ne justifie pas la continuation des essais ni une évaluation en vue de passer à une autre phase du projet.

MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES

Problématique : Les systèmes de conversion de l'énergie, existants ou nouveaux, posent souvent des problèmes de matériaux. Par exemple, pour obtenir des degrés de réaction et des rendements élevés, il faut souvent faire fonctionner les réacteurs chimiques à des températures élevées (de 600 à 1 000 °C) auxquelles les aciers courants souffrent de taux de corrosion excessifs. Il faut donc trouver des matériaux capables de fonctionner à ces températures, dans les atmosphères corrosives. La formulation d'alliages appropriés suppose une compréhension de la cinétique et de l'évolution morphologique des produits de corrosion résultant d'une exposition à différentes conditions thermiques et environnementales.

CONTRAT MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES : CARACTÉRISTIQUES DE SULFURATION ET DE CARBURATION DES ALLIAGES À BASE DE CHROME FERREUX ET DE MANGANÈSE FERREUX

Université McMaster - W. Smerltzer -
commencé en avril 1979.

OBJECTIF : Chercher à comprendre les mécanismes de sulfuration et de carburation internes qui mènent à la détérioration des alliages à base de Fe-Cr et Fe-Mn, et mettre au point des méthodes pour atténuer cette détérioration.

RÉALISATIONS Phase I, sulfuration du Fe-25 % Cr dans des atmosphères de H_2S-H_2 (1979-1980). On a étudié la cinétique de réaction du Fe-25 % Cr dans une gammne de températures et dans différentes atmosphères de H_2S-H_2. On a observé que l'attaque sélective du chrome dans les aciers, qui se transforme en sulfure de chrome avec un taux élevé de diffusion, se traduisait par une production rapide de tartre externe, démontrant ainsi qu'on ne peut pas utiliser ces aciers dans des conditions de sulfuration.

Phase II, sulfuration du Fe-25 % Cr-10% Al dans des atmosphères de H_2S-H_2 (1980-1981). On a constaté que l'introduction d'aluminium dans l'alliage réduisait du centuple les taux de détérioration aux basses pressions de soufre, mais n'avait aucun effet significatif autrement.

Phase III, examen du Fe-25Cr-10Mn-4Al. L'étude repose sur le fait que le taux de sulfuration du Mn est de beaucoup inférieur à celui du Cr métallique, et on a constaté que, comparativement au Cr, l'addition de Mn a un effet bénéfique sur les caractéristiques de sulfuration du fer dû aux meilleures caractéristiques de protection du MnS.

Des études du Fe-25-Mn et du Fe-50-Mn ont montré que les taux de sulfuration dans ce dernier sont du même ordre que ceux observés dans le Mn pur et, d'un ordre de grandeur, meilleur que dans l'alliage pauvre en Mn. Cependant, aux faibles pressions de soufre, le Fe-25Cr-10Al est encore, de deux ordres de grandeur, meilleur que le Fe-Mn et le Fe-Mn-Al.

Même si le Fe-25-Mn-Al a affiché un taux de sulfuration initial réduit lorsqu'on a augmenté la concentration de Al, on a constaté qu'à des pressions élevées de soufre, le taux augmentait à cause du remplacement du tartre dense par du tartre poreux. D'autres travaux sur l'exposition prolongée du Fe-25 Mn-20Al indiquent que la courbe d'oxydation a une forme sigmoïdale et que le taux de sulfuration rapide se transforme encore en une cinétique de protection lente.

Phase IV, étude des alliages à base de Fe-25Mn-Al avec plage de concentrations d'Al. L'étude a démontré que la sulfuration comprenait la formation d'une couche protectrice double de tartre de Mn(Al)S et Al_2S_3 suivie d'une période transitoire de croissance rapide à 800 °C lorsque des nodules sont formés au-dessous de la mince couche susmentionnée. On a trouvé que la croissance par diffusion résultant d'une plus longue exposition était contrôlée par les propriétés de transport des couches internes.

TRAVAUX EN COURS On a continué les travaux de recherche de la Phase IV en vue d'identifier et d'explorer les conditions pour lesquelles les alliages à base de Fe-Mn-Al et de Fe-Al sont plus résistants au soufre que les alliages à base de Fe-Cr-Al. Pour identifier les mécanismes de croissance du tartre de sulfure sur ces alliages, on a effectué des expériences à l'aide d'un traceur de ^{35}S, et on a défini la morphologie des couches de tartre en se basant sur les recherches métallographiques

et structurales. Les expériences de sulfuration ont été réalisées à 750 °C dans des atmosphères de H_2S-H_2 en présence de vapeurs de soufre.

Les couches de tartre de sulfure formées sur les alliages à base de Fe-25Mn et de Fe-5 Al (% en masse) étaient denses et leur croissance s'était faite par diffusion prédominante des cations vers l'extérieur. Des couches de tartre très poreux se sont formées sur l'alliage à base de Fe-25Mn-5Al et leur croissance s'est faite par imprégnation de vapeurs de soufre. Le tartre formé sur l'alliage de Fe-25Mn-20Al était associé à la croissance d'une couche protectrice de Al_2S_3-(FeMn)Al_2S_4 sur l'alliage, par diffusion de soufre et de métal en dessous de la couche de tartre du type susmentionné. Cet alliage ferritique à base de F-25Mn-20Al a ainsi développé une assez bonne résistance à la sulfuration comme le montre la courbe de réaction de forme sigmoïdale attribuable à la décomposition de la pellicule protectrice de MnS formée initialement et à la croissance d'une couche de tartre poreux jusqu'à ce que la protection soit assurée par la croissance des couches internes de Al_2S_3-(FeMn)Al_2S_4. On a classé les couches de sulfure de ces différents tartres en se basant sur les sulfures de types MS, M_3S_4 et M_2S_3 des systèmes du soufre Fe-Mn, Fe-Al et Fe-Mn-Al.

Le rapport annuel final de 1984-85 est en cours de préparation.

PERSPECTIVES D'AVENIR Le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie a cessé de supporter ces travaux en mars 1985 suite au changement de priorités et aux coupures budgétaires.

5.6.2 UTILISATION DE L'HYDROGÈNE

Le présent sous-programme concerne le stockage, le transfert, la distribution et l'utilisation finale de l'hydrogène. On est surtout intéressé par de nouvelles utilisations finales susceptibles de se développer lorsque l'hydrogène ne sera plus produit à partir de combustibles fossiles. L'hydrogène peut être employé directement comme vecteur d'énergie, indirectement comme matière première chimique pour la production de combustibles ou comme matière première chimique.

À l'heure actuelle, l'utilisation directe d'hydrogène comme combustible n'est pas économique car le prix de l'hydrogène est nécessairement plus élevé que celui du gaz naturel à partir duquel il est en général produit. Dans certaines régions, on s'attend à ce que l'hydrogène obtenu autrement qu'à partir de combustibles fossiles puisse un jour concurrencer les combustibles fossiles, particulièrement si on peut tirer avantage des propriétés de l'hydrogène que n'ont pas les autres combustibles disponibles. Dans certaines industries, l'hydrogène sous-produit est déjà utilisé comme combustible.

Dans le domaine des transports, l'un des principaux obstacles techniques à l'utilisation de l'hydrogène est la difficulté du stockage résultant de la faible densité d'énergie de ce combustible. De plus, il existe déjà une infrastructure imposante pour la distribution des combustibles liquides, ce qui n'est pas le cas pour l'hydrogène gazeux.

La liquéfaction de l'hydrogène permet de résoudre en partie ces difficultés mais il se pose un nouvel ensemble de problèmes de production, de stockage, de distribution et de sûreté dont certains sont liés à la très basse température de l'hydrogène liquide.

On peut fabriquer des combustibles synthétiques dont les propriétés sont très proches de celles des pétroles actuellement utilisés, mais ces combustibles sont très chers et le carbone qui entre dans leur composition provient généralement de sources fossiles épuisables. Cependant, il est possible de produire d'autres combustibles comme des alcools, avec un meilleur rendement énergétique et à meilleur marché, mais l'on n'élimine pas la nécessité d'une matière première carbonée.

Il existe d'autres possibilités de combustibles liquides sans carbone, comme l'ammoniac (NH_3) que l'on peut préparer facilement à partir de l'azote contenu dans l'air. Ce combustible peut donc être complètement indépendant des sources fossiles.

5.6.2.1 STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE

STOCKAGE (MASSIF) DE L'HYDROGÈNE

Problématique : On prévoit que l'hydrogène électrolytique sera un jour utilisé à grande échelle pour le stockage de l'énergie ou comme matière première chimique. Pour assurer une gestion efficace et rentable de cet hydrogène, il faudra disposer d'une grande capacité de stockage de l'hydrogène afin de concilier l'offre et la demande. À l'heure actuelle, il existe peu d'installations de stockage massif de l'hydrogène car l'hydrogène produit à partir des hydrocarbures suffit à satisfaire la plus grande partie de la demande. Les hydrocarbures sont convertis en hydrogène libre suivant les besoins, de telle sorte que l'hydrocarbure sert de milieu de stockage. On prévoit que les méthodes de stockage massif auront de nombreux points en commun avec les méthodes utilisées pour le stockage du gaz naturel sous forme gazeuse ou liquide. Il existe cependant des différences importantes dans les propriétés de ces susbstances qui se traduiront par des différences dans l'applicabilité des méthodes de stockage. Il faudra déterminer ces différences, leurs conséquences, ainsi que les mesures à prendre pour résoudre les problèmes prévus. La plupart des données relatives au stockage massif de l'hydrogène proviennent des expériences conduites dans le cadre du programme spatial américain, dans lesquelles l'hydrogène est stocké de préférence sous forme de liquide car il présente alors une énergie massique supérieure à celle de tout autre combustible. Imperial Chemical Industries, au Royaume-Uni , a stocké l'hydrogène dans des cavernes de sel souterrains et Gaz de France a une certaine expérience sur le stockage dans des aquifères.

Les aspects techno-économiques du stockage massif de l'hydrogène ont fait l'objet d'un certain nombre d'études. Ces études restent cependant générales et les paramètres et contraintes considérés ne reflètent pas les besoins spécifiquement canadiens.

CONTRAT STOCKAGE MASSIF DE L'HYDROGÈNE

CANATOM INC., - M. L.A. Phillips -

Commencé en juin 1983

Sous-traitement : Institute of Gase Technology

OBJECTIF Examiner les options et possibilités de stockage massif de l'hydrogène au Canada.

RÉALISATIONS Le présent projet englobe le stockage au-dessus de la surface du sol dans des récipients sous pression ou des récipients cryogéniques et le stockage souterrain dans des cavités rocheuses, des dômes de sel ou de la roche perméable.

On a effectué une analyse technique et économique détaillée des diverses méthodes de stockage de grandes quantités d'hydrogène gazeux ou liquide. L'approche adoptée dans cette analyse était basée sur les scénarios canadiens plausibles choisis en vue d'inclure les considérations particulières au site et à l'application qui ont des répercussions importantes sur la rentabilité du système.

Les cinq scénarios choisis sont énumérés à la page 45. Pour chaque scénario, on indique la capacité de stockage requise, la vitesse de recyclage du stockage et la puissance électrique nécessaire.

Le traitement des scénarios a été complété par les éléments suivants :

- Examen de divers modes de stockage.

- Études géologiques relatives au choix d'un site.

- Récupération des énergies de stockage pour la compression et la liquéfaction.

- Sûreté et réduction des pertes. On a traité ce sujet par comparaison avec les méthodes établies pour le gaz naturel et le gaz naturel liquéfié, qu'on a modifiées en tenant compte des différences entre les caractéristiques de l'hydrogène et celles du méthane.

Voici les principaux résultats dde cette étude :

- Le stockage dans de grandes cavernes est en général d'un ordre de grandeur moins coûteux que le stockage dans des tubes et des cylindres à pression élevée ou dans des récipients cryogéniques sous forme liquide.

- Le facteur simple ayant l'effet le plus marqué sur le coût du stockage est le débit de gaz, et dans le cas extrême, le coût du stockage dans une grande caverne où le débit du gaz est faible peut être supérieur à celui du stockage dans des cylindres à pression élevée ayant une plus grande vitesse de recyclage

- Un facteur des plus importants est le coût de l'hydrogène qui, dans le cas de la production électrolytique, dépend du coût de l'électricité, lequel dépend à son tour du facteur de service de la centrale.

- Lorsqu'on a besoin d'hydrogène liquide pour l'utilisation finale, le seul mode raisonnable de stockage est sous forme liquide.

- Le principal problème technique simple identifié était la limite de pression de l'acier au carbone (1000 à 1200 lb/po^2). L'augmentation de cette limite se traduirait par des réductions proportionnelles du volume de stockage, ce qui aurait pour effet de réduire les coûts et d'offrir un plus grand choix en matière de modes de stockage et de sites.

- Le présent rapport démontre qu'on a tort d'appliquer des coûts généralisés pour le stockage et insiste sur la nécessité d'inclure des considérations propres au site et à l'application. Le rapport final sur ce travail a été présenté en juillet 1984.

TRAVAUX EN COURS ET PERSPECTIVES D'AVENIR Pour l'instant, on ne prévoit aucun autre travail sur le stockage massif. Toutefois, des travaux à contrat portant sur la résistance des matériaux ont été effectués dans le cadre des activités du présent programme relatives à la sûreté.

SCÉNARIOS DE STOCKAGE MASSIF CHOISIS

MODE DE STOCKAGE	UTILISATION DE L'HYDROGÈNE	ENDROIT	CAPACITÉ (tonnes)	CYCLE (tonnes/jour)	ÉLECTRICITÉ MW
RÉCIPIENT À PRESSION ÉLÉVE	PETITE INDUSTRIE	NON SPÉCIFIQUE	0,3	0,3	0,8
RESERVOIR POUR LIQUIDE CRYOGÉNIQUE	CARBURANT POUR LE TRANSPORT AÉRIEN	MIRABEL	1000	32,5	150,0
CAVERNE DE SEL	RÉDISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE MARÉMOTRICE	DORCHESTER (N.-B.)/BASSIN CUMBERLAND	160,0	charge, 2 × 80 décharge, 160	1000,0
CAVERNE DE ROCHE DURE	INSTALLATION DE COMPENSATION DE POINTE	ROUTE DE LA BAIE JAMES/ REGION INDUSTRIELLE DE QUÉBEC	160,0	160,0	1000,0
MILIEU POREUX (PUITS DE GAZ ÉPUISÉ)	VALORISATION DU PÉTROLE LOURD	GISEMENT DE GAZ DE WHITE-SIDE - VICTORIA	2200,0	113,0 charge, 6 mois décharge, 6 mois	475 (12 mois) 475 (6 mois)

STOCKAGE (À PETITE ÉCHELLE) DE L'HYDROGÈNE

Problématique : Si l'hydrogène en tant que vecteur énergétique doit être un complément de l'électricité, sa première fonction sera de permettre le stockage de l'énergie. C'est dans le domaine des transports que les problèmes de stockage sont les plus aigus car les combustibles doivent avoir une grande densité énergétique, en poids et en volume. On ne prévoit pas trouver une méthode unique de stockage de l'hydrogène qui conviendra à toutes les applications finales possibles. Pour être en mesure d'associer à tout nouveau besoin la méthode de stockage la plus appropriée, il faut effectuer des études générales visant à caractériser adéquatement les diverses méthodes de stockage disponibles ou théoriques. À l'heure actuelle, les combustibles destinés au transport sont pratiquement tous des hydrocarbures liquides dont les propriétés conviennent particulièrement à cette application. On peut préparer synthétiquement des combustibles liquides avec de l'hydrogène obtenu à partir de sources non fossiles, mais les procédés utilisés ont généralement un faible rendement énergétique, ils sont coûteux et les quantités de carbone requises sont telles qu'elles ne peuvent provenir que de dépôts fossiles épuisables. À long terme, il faudra trouver un autre moyen de stocker l'énergie pour éliminer cette dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles.

MICROENCAPSULATION

État des connaissances : Pour stocker l'hydrogène sans avoir recours aux récipients sous pression classiques, on enferme l'hydrogène dans des microcapsules en verre capables de supporter des pressions internes élevées. La méthode utilisée pour le chargement de la microcapsule dépend de la variation de la perméabilité du verre à l'hdrogène avec la température. L'hydrogène est diffusé dans les microcapsules sous forte pression, à des températures élevées. Lorsque l'on réduit ensuite la température et la pression, l'hydrogène reste enfermé, sous pression, et il peut être libéré à n'importe quel moment par chauffage. Des expériences relatives à cette méthode de stockage ont eu lieu aux États-Unis, avec des microsphères commerciales. Le programme américain, subventionné par le DOE, s'est terminé à la fin de 1981. Les propriétés des microsphères n'ont pas été optimisées en vue de cette application. À la lumière des nouvelles idées sur la microencapsulation, les résultats américains ne justifient plus le rejet de ce principe de stockage. On estime que de nouvelles études s'imposent avant de prendre une décision.

CONTRAT ÉVALUATION EXPÉRIMENTALE DU STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE DANS DES MICROCAPSULES EN VERRE

Ontario Research Foundation - S. Johar -
commencé en décembre 1981.

OBJECTIF Conduire un programme expérimental à partir duquel on pourra évaluer les possibilités d'utilisation de microcapsules en verre pour stocker l'hydrogène.

RÉALISATIONS On a terminé en mars 1983 la première phase de la preuve de faisabilité. D'après cette étude, lorsqu'on veut obtenir des densités de stockage élevées, le verre de silice est le meilleur matériau pour la fabrication des microcapsules. Les principaux facteurs dont on a tenu compte dans ce choix sont la résistance du matériau et sa perméabilité à l'hydrogène variant de façon adéquate en fonction de la température. Ce sont les paramètres qui inluent respectivement sur la densité de stockage et sur la vitesse de décharge. On a observé (dans le récent programme américain) qu'un problème majeur de l'encapsulation dans des microsphères était la rupture des capsules pendant le chargement. Ce problème résultait de l'absence d'uniformité de taille et de forme (et par conséquent de résistance) tant d'une sphère à l'autre qu'à l'intérieur d'une même capsule. Dans le présent projet, on a utilisé des capsules en fibres creuses parce qu'on prévoyait maintenir un degré plus élevé de contrôle de qualité et de reproductibilité des microcapsules pendant la fabrication. Cette hypothèse était partiellement fondée sur l'expérience acquise dans la fabrication de fibres optiques.

On a modifié une filière commerciale pour fibres optiques de façon à produire les fibres de silice creuses à paroi mince, lesquelles ont été soumises à des essais de résistance à l'éclatement en traction axiale. On a mis au point et évalué des techniques d'attaque pour amincir les parois et augmenter la résistance. On a aussi mis au point des techniques de scellement des extrémités. On a conçu et fabriqué un système de charge-décharge dans lequel la pression peut atteindre 6000 lb/po^2 et la température 300 ^oC.

TRAVAUX EN COURS On a atteint des densités de stockage de l'hydrogène dépassant 2½ pour cent en poids par fibre, mais au prix d'un taux élevé de mortalité des fibres. On constate qu'il existe un seuil de stockage pour le nombre de ruptures de fibres. Au-dessous de ce seuil de densité de stockage, le nombre de ruptures de fibres est très faible et au-dessus de ce seuil, il est élevé. La rupture du verre est le plus souvent causée par des pailles qui produisent une concentration des contraintes, et on a consacré beaucoup d'efforts au contrôle et à l'optimisation des paramètres d'étirage des fibres afin de réduire la formation de ces pailles. Les conditions d'étirage admissibles pour les fibres creuses sont très limitées, comparativement à celles permises pour l'étirage des fibres pleines, étant donné qu'il faut prévenir l'effondrement du centre creux. Il semble qu'en voulant satisfaire simultanément aux exigences de maintien du centre creux et de réduction du nombre de pailles, on obtienne des résistances des fibres creuses qui sont beaucoup plus faibles que les résistances réalisables avec les fibres pleines.

Les parois minces et les pressions élevées requises pour obtenir des densités de stockage élevées augmentent aussi le risque de ruptures en chaîne, c'est-à-dire qu'une seule capsule de moins bonne qualité peut provoquer la rupture des capsules voisines et ainsi de suite. On a réalisé certains progrès dans la réduction de cet effet en appliquant des revêtements de protection aux fibres. On étudie aussi présentement les possibilités d'encapsulation rigide de fibres ou de ballons.

Les coûts estimés de production de fibres de silice creuses sont très élevés en raison de la température élevée requise pour la fabrication de la silice, qui crée des problèmes avec les matériaux et qui se traduit par un procédé laborieux. À l'heure actuelle, on cherche des applications de cette technologie dans les trois secteurs suivants : stockage de l'hydrogène, séparation des gaz et purification de l'hydrogène.

PERSPECTIVES D'AVENIR Si on réussit à identifier des secteurs d'application pour lesquels cette technologie pourrait être plus avantageuse que les autres, il faudra optimiser les caractéristiques des microcapsules en vue de ces secteurs particuliers. En particulier, on a envisagé l'utilisation de différents types de verre ayant une efficacité moindre afin de réduire les coûts de production. Ce travail a permis d'acquérir des compétences considérables dans la fabrication de fibres creuses, et les possibilités de retombées technologiques seront étudiées en dehors du présent programme.

HYDRURES

Problématique : Dans le domaine des transports, l'hydrogène gazeux est un vecteur énergétique particulièrement peu pratique. La liquéfaction et la compression peuvent faciliter le stockage pour certaines applications. De plus, il est possible de faire réagir l'hydrogène avec certains alliages métalliques : la réaction réversible donne alors des composés solides contenant jusqu'à environ 5 % en poids d'hydrogène. Grâce à la diversité de leurs caractéristiques, ces hydrures métalliques peuvent aussi être utilisés pour la compression et le pompage de l'hydrogène, ainsi que le pompage et le stockage de la chaleur. Pour la mise au point de ces systèmes, il est nécessaire de disposer d'alliages ayant des caractéristiques appropriées. Dans une certaine mesure, il est possible d'obtenir certaines caractéristiques de fonctionnement en modifiant la composition de l'alliage. Ces travaux restent en grande partie empiriques et l'on cherche toujours à mieux comprendre les propriétés de ces matériaux. Du point de vue de la sécurité, les hydrures présentent en général de grands avantages. Ils présentent peu d'intérêt du point de vue de la densité énergétique, et les effets négatifs des impuretés dans l'hydrogène posent d'autres problèmes pratiques. On a récemment amélioré la performance en ce qui concerne la résistance aux impuretés et la vitesse d'absorption de l'hydrogène. On a aussi amélioré de façon appréciable les capacités de transfert de chaleur des lits d'hydrures, ce qui permet le recyclage rapide nécessaire dans les applications de compression et de pompage de la chaleur.

PROGRAMME INTERNE

HYDRURES MÉTALLIQUES

Division de chimie, CNRC - J.J. Murray -
commencé en 1978.

OBJECTIF Obtenir des données sûres et précises sur les hydrures métalliques présentant un intérêt pratique. Élargir la base de données scientifiques relatives à ces systèmes, se tenir au courant des travaux étrangers dans ce domaine et mettre au point de nouvelles techniques et de nouveaux matériaux destinés à l'étude et à l'utilisation des hydrures métalliques. Le programme permet aussi de se tenir au courant des travaux réalisés ailleurs, des perfectionnements techniques et des nouvelles applications concernant les hydrures.

RÉALISATIONS Ce programme est un programme interne de la Division de chimie du CNRC. Un laboratoire a été mis sur pied pour la préparation d'alliages ayant la qualité requise pour ces études. On étudie actuellement les réactions de ces alliages avec l'hydrogène en mesurant les changements de pression, les changements thermiques (calorimétriques) et les changements structuraux (diffraction des rayons X).

Jusqu'à ce jour, on a surtout utilisé les deux premières techniques et l'on a obtenu de nouvelles données intéressantes, surtout dans le domaine de la thermodynamique. De nombreux phénomènes complexes se produisent pendant l'hydruration et la déshydruration des alliages, phénomènes qui finissent par influer sur la performance du système en situation réelle.

TRAVAUX EN COURS À l'heure actuelle, le but du travail est de quantifier ces effets. Les données obtenues lors des études structurales devraient révéler d'importantes corrélations. En plus de la diffraction des rayons X, on a commencé à étudier la structure par diffraction de neutrons, en collaboration avec Énergie atomique du Canada Ltée. Voici les alliages étudiés jusqu'ici : Mg_2Ni, FeTi, FeTiO, $LaNi_5$ et $CaNi_5$. Les alliages de magnésium présentent un grand intérêt pratique à cause de leur faible poids et de leur coût relativement peu élevé, mais ils se sont révélés d'une utilisation très difficile car ils réagissent extrêmement lentement avec l'hydrogène.

PERSPECTIVES D'AVENIR Ce projet est en cours à la Division de chimie du CNRC, à Ottawa. On prévoit de maintenir le niveau actuel de soutien financier (4 années-personnes).

5.6.2.2 VECTEURS D'HYDROGÈNE LIQUIDES

Problématique : L'infrastructure actuelle pour le transport, la distribution et le stockage des combustibles destinés au transport est presque entièrement conçue pour un combustible liquide dérivé du pétrole. La production de combustibles liquides compatibles avec les systèmes et infrastructures existants à partir d'hydrogène obtenu par électrolyse pourrait constituer un moyen d'utiliser l'énergie électrique dans les transports. Mis à part les combustibles liquides synthétiques de type essence, le nombre de combustibles liquides que l'on peut envisager comme vecteurs d'hydrogène est très limité. À l'heure actuelle, le méthanol et l'ammoniac sont les principaux candidats. Si l'on compare avec l'hydrogène gazeux ou liquide, ces liquides présentent des avantages appréciables en termes de sécurité, de manutention et de stockage. L'utilisation finale n'est pas nécessairement limitée au transport. Il existe déjà des marchés non liés à l'énergie pour lesquels des méthodes de production massive de pointe sont bien établies. On peut soit brûler directement les vecteurs d'hydrogène liquides dans un moteur à combustion interne, soit en extraire facilement l'hydrogène. Dans le dernier cas, il faut que l'étape intermédiaire, complexe et coûteuse, de la conversion en hydrogène soit justifiée.

La nature du vecteur choisi et les caractéristiques du moteur déterminent la façon dont le combustible sera traité. La performance globale du système combiné doit justifier le développement du principe. En fait, il apparaît évident qu'on gagnera en efficacité. Si l'on utilise la chaleur résiduelle du moteur pour entretenir la réaction de décomposition, on augmente dans de nombreux cas la

teneur énergétique de l'hydrogène entrant dans le moteur. De plus, on peut augmenter le rendement des moteurs à bas régime en tirant avantage des caractéristiques d'inflammabilité de l'hydrogène, ce qui n'est pas le cas avec l'essence.

L'utilisation éventuelle de l'hydrogène dans un moteur mixte à pile à combustible et électricité devrait aussi permettre un gain de rendement. Dans ce cas, il est moins probable que l'on utilisera directement un vecteur liquide comme combustible, de sorte que la conversion en hydrogène à bord sera nécessaire.

État des connaissances : Diverses conceptions avec différents vecteurs liquides ont été proposées et quelques véhicules ont été assemblés et essayés avec des moteurs à combustion interne. Des expériences japonaises et américaines dans lesquelles l'hydrogène était obtenu par craquage du méthanol en $CO+H_2$ ont révélé des gains considérables de rendement. Les problèmes de durabilité du catalyseur et de résistance à la contamination par les impuretés ne sont pas résolus. Bien entendu, le réacteur ne démarre pas automatiquement et l'on a essayé diverses techniques incluant le chauffage auxiliaire et les moteurs à deux combustibles. De plus, l'obtention de la puissance nominale maximale du moteur pose encore des problèmes.

On a beaucoup moins de données sur l'utilisation de l'ammoniac et des produits de craquage de l'ammoniac dans les moteurs à combustion. L'utilisation de l'ammoniac comme combustible remonte aux années 40. Il était alors utilisé dans les autobus en Belgique. Un regain d'intérêt est apparu dans les années 60, lorsque le U.S.

Army Material Command considéra l'ammoniac comme un élément du "dépôt d'énergie". On n'a pas rencontré de difficultés insurmontables qui empêcheraient d'utiliser l'ammoniac comme combustible, mais ce projet a été interrompu car le réacteur nucléaire mobile qui devait être utilisé comme source d'énergie primaire n'a jamais été mis au point.

Dans le cadre du présent programme, la Chemetics International a effectué une étude portant sur les aspects de la sûreté d'utilisation de l'ammoniac comme combustible pour véhicules et elle a présenté ses résultats en 1984.

CONTRAT RAPPORT SUR L'UTILISATION D'UN VECTEUR D'HYDROGÈNE LIQUIDE COMME COMBUSTIBLE PRODUIT PAR UN GÉNÉRATEUR D'HYDROGÈNE INSTALLÉ À BORD DU VÉHICULE

Ontario Research Foundation (ORF), Centre for Alternate Fuels Utilisation - A. Lawson.

OBJECTIF Préparer un plan de travail pour la phase II de l'étude sur la production d'hydrogène à bord d'un véhicule à partir de vecteurs liquides.

RÉALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS Pour faire suite à un contrat précédent passé avec l'Engelhard Canada, intitulé "Étude de la production d'hydrogène à bord d'un véhicule à partir de vecteurs liquides : phase I", on a demandé au sous-contractant canadien (ORF) de présenter un plan pour la réalisation de la deuxième phase de ce travail. On n'a pas donné suite à la proposition qui a été faite parce qu'on a trouvé un moyen moins risqué pour obtenir les informations requises, comme le montre l'autre proposition de travail décrite ci-dessus.

CONTRAT PREUVE DE FAISABILITÉ CONCERNANT L'UTILISATION DU MÉTHANOL DISSOCIÉ COMME CARBURANT POUR VÉHICULE

Solar Energy Research Institute (SERI), Fuels Utilization Group - H. Chum -

Sous-contractant - Ontario Research Foundation (ORF).

OBJECTIF Fournir des données quantitatives concernant les économies de carburant que peut offrir l'utilisation du méthanol dissocié comme vecteur d'hydrogène dans le secteur des transports.

RÉALISATIONS On a proposé un plan de travail en vue de combler les lacunes existantes dans les connaissances techniques sur les systèmes au méthanol dissocié. Cette proposition s'appuie sur les travaux antérieurs effectués par le SERI en tant qu'administrateur de l'Alcohol Fuels Office R & D Program de l'US Department of Energy depuis 1979. Les travaux antérieurs effectués au SERI comprennent la modification d'une Chevrolet Citation 1980 en vue de l'alimenter en carburant provenant d'un système de reformage du méthanol installé à bord. En se basant sur l'expérience acquise avec ce premier véhicule et sur les compétences de nombreuses sources, on a conçu, construit et installé sur une Ford Escort un deuxième système perfectionné de dissociation et d'alimentation en carburant.

On a défini les quatre activités principales suivantes en vue d'un futur contrat avec partage des tâches :

1. Mise à l'essai du véhicule au méthanol dissocié du SERI, alimenté avec du méthanol liquide ou du méthanol dissocié, ou les deux; ce projet sera financé par l'U.S. Department of Energy.

2. Travaux de recherche sur la combustion dans un cylindre unique, dans lesquels on étudiera les caractéristiques de combustion de différentes compositions de carburant au méthanol réformé simulé; ce projet sera financé par le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie et sera réalisé au SERI.

3. Essai dynamométrique, en régime permanent, du système au méthanol dissocié du SERI sur un moteur à plusieurs cylindres; ce projet sera financé par le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie et réalisé à l'Ontario Research Foundation.

4. Perfectionnement et validation du modèle de système au méthanol dissocié du SERI, y compris des comparaisons d'économies d'énergie prévues entre le méthanol dissocié et le méthanol liquide pour différents rapports puissance/poids des véhicules; ce projet sera financé par le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie et sera réalisé au SERI.

TRAVAUX EN COURS ET PERSPECTIVES D'AVENIR Le CNRC et le SERI en sont venus à un plan de programme acceptable pour les deux parties, et le document du contrat était prêt à être signé en novembre 1984.

CONTRAT MISE AU POINT EXPÉRIMENTALE D'UN MOTEUR ALIMENTÉ À L'AMNMONIAC

Conseil de recherches du Manitoba, Centre de technologie industrielle, - R. Shand -
commencé en novembre 1983.

Sous-contractant : Midwest Detroit Diesel et Université du Manitoba

OBJECTIF Faire la mise au point expérimentale d'un moteur alimenté à l'ammoniac, dont la puissance, le rendement et les caractéristiques d'émission sont optimisés. Pour donner une direction au projet, on considère une application relative à un système énergétique fonctionnant dans une région éloignée.

RÉALISATIONS On a examiné différentes options pour la conversion d'un moteur à combustion interne en un moteur alimenté à l'ammoniac, et l'induction de vapeur avec allumage par étincelle a été choisie comme option la plus prometteuse. Un moteur "Fuel Pincher" à huit cylindres de Detroit Diesel Allison, fourni par Midwest Detroit Diesel (General Motors), a été modifié pour fonctionner avec un seul cylindre. Dans les travaux de la phase II, ce moteur a été converti à l'ammoniac anydre. Pour effectuer la conversion, on a dû prévoir des rapports air/combustible ajustables, ce qui a été réalisé par l'addition au système d'amenée du carburant de composants pour gaz de pétrole liquéfié rendus compatibles à l'ammoniac. On a aussi ajouté un système d'allumage par étincelle MDS à haute énergie. Ces modifications ont permis un démarrage facile à l'ammoniac à la température du laboratoire, et le

fonctionnement du moteur alimenté à l'ammoniac a donné une puissance comparable à celle obtenue avec une alimentation au propane.

On a conçu et construit trois modèles de pistons afin de permettre le fonctionnement à des taux de compression de 14:1, 16:1 et 18:1.

On a tracé les plans préliminaires d'un système de dissociation de l'ammoniac qui produira de l'hydrogène devant servir d'additif en vue de faciliter le démarrage par temps froid. Cependant, d'après l'expérience d'utilisation acquise jusqu'à ce jour, ce système ne sera peut-être pas requis en pratique car on a démontré qu'il est possible de réaliser une remise en marche douce à une température du liquide de refroidissement de 10 °C.

TRAVAUX EN COURS Jusqu'à ce jour, on a obtenu des rendements thermiques atteignant 48 %, à un taux de compression de 18:1, et il semble que ce rendement pourra être dépassé à des taux de compression plus élevés. Les concentrations d'ammoniac non brûlé sont très faibles, et d'après l'odeur, on a estimé qu'elles étaient inférieures à 15 parties par million.

Les essais du moteur se poursuivent et comprennent :

. l'optimisation du rendement du moteur alimenté à l'ammoniac par des modifications de l'écartement des électrodes, de la plage de

température des bougies, de la température du liquide de refroidissement et du taux de compression;

- la réduction de la consommation de carburant;

- l'utilisation d'additifs dans le carburant, notamment l'hydrogène, en vue d'évaluer les effets d'un système de dissociation;

- la mise au point de moyens d'assurer le démarrage à froid;

- l'installation d'un convertisseur catalytique classique à troies voies en vue de réduire la production de gaz d'échappement (particulièrement de l'ammoniac);

- la préparation d'un ensemble préliminaire de plans de modification du moteur en vue du montage d'un moteur de 100 kW fonctionnant à l'ammoniac;

- la préparation d'un plan de travail pour la phase III.

PERSPECTIVES D'AVENIR La décision relative à l'exécution de la phase III devait dépendre des résultats obtenus dans les phases I et II ainsi que des résultats obtenus dans le cadre du projet d'analyse de systèmes qui faisait l'objet d'un contrat distinct. Le plan de la phase III comprenait la conversion complète (tous les cylindres) à l'ammoniac du moteur de 8,2 *l*. On devait envisager la commercialisation préliminaire.

CONTRAT ÉTUDE D'UNE MICRO-INSTALLATION DE PRODUCTION D'AMMONIAC POUR STOCKER L'ÉNERGIE DE L'HYDROGÈNE DANS DES RÉGIONS ÉLOIGNÉES

Kilborn Kellogg Ltd. - N.E. Anderson,
commencé en mars 1984.

OBJECTIF Évaluer la faisabilité et la rentabilité de la production à petite échelle d'ammoniac pour stocker de l'énergie, avec application spécifique à une collectivité éloignée qui requiert une source d'énergie primaire variable ou intermittente.

RÉALISATIONS On peut considérer les modèles éprouvés existants d'installations produisant aussi peu que 50 tonnes par jour comme point de départ pour réduire la production à moins de 1 tonne par jour, ce qui devrait suffire à répondre aux besoins.

TRAVAUX EN COURS Pour la présente étude, on a envisagé l'utilisation d'une source d'énergie primaire éolienne. On a analysé trois options de charges pour la collectivité (500, 4000 et 10 000 MWh/année) avec différentes valeurs de la vitesse moyenne du vent, du coût du combustible diesel et du nombre de turbines éoliennes.

Les coûts d'immobilisation englobaient l'installation de production d'hydrogène, l'installation de production d'azote, l'installation de production d'ammoniac et les services publics pour des capacités

spécifiques de production d'ammoniac de 0,5, 2,0 et 10,0 t/jour. Les modèles éprouvés d'installations produisant aussi peu que 50 tonnes d'ammoniac par jour ont servi de point de départ pour la réduction d'échelle.

En raison des pertes d'efficacité dans le procédé de production d'ammoniac en très faible quantité, seulement 17 % de l'énergie des turbines éoliennes en excès peuvent être récupérés sous forme d'économies de combustible diesel.

Les résultats de l'analyse financière préliminaire indiquaient que "dans presque tous les cas, le complexe de stockage de l'ammoniac ne permet pas d'économiser assez de combustible diesel pour couvrir les frais d'entretien, encore moins pour rembourser les coûts d'immobilisation".

PERSPECTIVES D'AVENIR Compte tenu de la faible rentabilité démontrée par cette étude, on abandonnera l'approche basée sur la réduction d'échelle des installations existantes de production d'ammoniac. On a essayé d'identifier une autre méthode de production d'ammoniac qui conviendrait mieux aux capacités de production requises.

On avait trouvé un fabricant canadien éventuel utilisant une nouvelle approche pour la production d'ammoniac à petite échelle, et des négociations en vue d'un contrat de recherche avaient été entamées.

5.6.2.3 SÛRETÉ ET FRAGILISATION

SÛRETÉ DES SYSTÈMES À HYDROGÈNE

Problématique : Il est de plus en plus probable que l'hydrogène sera un jour utilisé directement comme vecteur énergétique dans des applications spécifiques. Des démonstrations futures et des applications probables pourraient amener le public à être en contact avec l'hydrogène. Il est donc indispensable de ne négliger aucun aspect de la sécurité. Le public a déjà un préjugé contre l'hydrogène qu'il associe malheureusement à Hindenberg et à la bombe à hydrogène, et tout accident pourrait freiner considérablement l'introduction de l'hyydrogène dans le domaine public.

Il est nécessaire d'établir une base de données sur la manipulation et le stockage de l'hydrogène. Les données doivent être analysées et augmentées grâce à des travaux expérimentaux. Il faudra de plus préparer des renseignements techniques sur les précautions à prendre avec l'hydrogène et établir des normes de sécurité relatives à l'usage de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique.

État des connaissances : Il existe de nombreux rapports et documents sur les dangers de l'hydrogène en laboratoire ou dans l'industrie, mais il en existe peu sur les dangers possibles de l'hydrogène utilisé par des personnes inexpérimentées. Les réglementations et codes sont généralelment d'une nature préventive et restrictive et ne concernent pas toujours spécifiquement l'hydrogène, et l'on peut douter qu'ils conviennent vraiment aux applications énergétiques envisagées.

COMITÉ SÛRETÉ DES SYSTÈMES À HYDROGÈNE

Des recommandations relatives à la formation et à la structure d'un comité national sur la sûreté des systèmes à hydrogène ont été faites dans le cadre d'un contrat précédent sur la sûreté des systèmes à hydrogène. Un groupe de travail sur la sûreté des systèmes à hydrogène s'est réuni en mai 1983, et cette rencontre a mené à la création, en juillet 1984, du Comité sur la sûreté des systèmes à hydrogène, reconnu par le Conseil national de recherches comme un sous-comité du Comité consultatif sur l'énergie. Les membres élus du comité sont :

D.R. Hay, Hydrogen Industry Council, président;
R.E. Knowlton, Chemetics International Company, secrétaire exécutif;
J.R.B. Murphy, Conseil national de recherches, secrétaire administratif.

Pendant l'année écoulée, les activités du comité ont porté sur :

- l'organisation d'un atelier sur la sûreté des systèmes à hydrogène à la Cinquième conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie;

- l'analyse de l'état actuel des codes, normes et des règlements relatifs à la sûreté des systèmes à hydrogène;

- les échanges avec les spécialistes de l'hydrogène;

- des discussions sur la façon dont le public perçoit la sûreté des systèmes à hydrogène.

Ces activités seront décrites en détail dans le rapport annuel du Comité sur la sûreté des systèmes à hydrogène.

CONTRAT SECRÉTARIAT DU COMITÉ SUR LA SÛRETÉ DES SYSTÈMES À HYDROGÈNE

Chemetics International Limited - R.E. Knowlton,
commencé en juillet 1984.

OBJECTIF On a retenu les services professionnels de M. R.E. Knowlton qui assurera des services de secrétariat pour le Comité sur la sûreté des systèmes à hydrogène.

FRAGILISATION PAR L'HYDROGÈNE

Problématique : Un problème important de sécurité posé par l'utilisation de l'hydrogène est la fragilisation : l'hydrogène provoque une dégradation prématurée de la résistance des aciers et des alliages qui conduit à une défaillance soudaine et catastrophique. Cet effet n'est pas seulement dû à l'hydrogène libre, on peut aussi l'observer en présence de sulfure d'hydrogène, de chlorure d'hydrogène et même d'eau. Dans le cas d'applications à petite échelle, on peut résoudre ce problème en choisissant judicieusement les matériaux ou en remplaçant les éléments défectueux, sans que cela entraîne des dépenses excessives. Pour le transport et la manipulation à grande échelle de l'hydrogène il sera indispensable de trouver des solutions peu coûteuses utilisant de préférence des matériaux disponibles sur le marché.

État des connaissances : Bien que les mécanismes fondamentaux de la fragilisation des métaux par l'hydrogène aient été étudiés pendant de nombreuses années, le processus est encore mal connu et l'on dispose de peu de renseignements détaillés sur des dispositifs peu coûteux destinés aux applications à grande échelle.

CONTRAT MATÉRIAUX POUR LE CONFINEMENT DE L'HYDROGÈNE GAZEUX

Canaton Inc. - M. J.K. Riley,
commencé en septembre 1984.

Sous-contractant - Institute for Hydrogen Systems
- Énergie atomique du Canada - société de recherche
- Ontario Research Foundation

OBJECTIF Assurer qu'il existe au Canada une base de données techniques et sur les matériaux qui permettra de faire un choix judicieux de matériaux et des paramètres nominaux associés pour le confinement sans danger de l'hydrogène gazeux dans les systèmes pratiques à l'échelle industrielle.

RÉALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS La première phase de cette activité avait pour but d'identifier le travail requis pour réaliser l'objectif énoncé, et elle a été terminée en mars 1985.

Le rapport final de la phase I contient une vaste documentation de base relative à la classification des phénomènes de fragilisation par l'hydrogène, à la propagation des criques sous-critique et à son application ainsi qu'au rôle de la mécanique des ruptures dans les essais des matériaux et les études techniques. Les recommandations concernant un programme de travail futur sont fondées sur les vastes connaissances et l'expérience des personnes se consacrant activement à des recherches portant sur les applications industrielles actuelles. La documentation et l'examen critique des travaux actuels pertinents réalisés au Canada et à l'étranger sont présentés suivant les quatre secteurs d'activités suivants, qui sont décrits en détail dans des annexes indépendantes :

- industries du pétrole, du gaz et de l'aérospatiale;

- fragilisation par l'hydrogène dans les tubes de force des réacteurs CANDU;

- endommagement par l'hydrogène dans l'industrie de l'eau lourde;

- transports en surface, chauffage domestique et traitement commercial.

PERSPECTIVES D'AVENIR On devrait effectuer des études pertinentes coordonnées avec les travaux déjà en cours tant au Canada qu'à l'étranger, particulièrement avec le nouveau groupe de travail VII formé dans le cadre de l'accord sur la mise en valeur de l'hydrogène de l'Agence internationale de l'énergie.

ESSAI DE SÛRETÉ DES RÉSERVOIRS À HYDROGÈNE LIQUIDE

Problématique Les méthodes actuelles de stockage de l'hydrogène sont la compression, la formation de composés solides (hydrures), la formation de composés liquides (méthanol, ammoniac) et la liquéfaction. Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients. La liquéfaction donne la plus haute densité d'énergie massique possible. C'est donc un avantage si l'on veut utiliser l'hydrogène dans les transports et l'on a vu apparaître récemment de nombreux véhicules de démonstration utilisant de l'hydrogène liquide comme carburant. Le stockage de l'hydrogène liquide dans les véhicules pose des problèmes de sécurité particuliers.

État des connaissances : L'hydrogène liquide est utilisé en laboratoire et dans l'industrie depuis de nombreuses années. Aux États-Unis, le transport massif de l'hydrogène liquide est bien connu depuis que la NASA utilise ce combustible pour les fusées. L'utilisation possible d'hydrogène liquide comme carburant dans des véhicules destinés au grand public posera de sérieux problèmes de sécurité.

Dans un projet coopératif précédent, la Deutsche Forschungs-und Versuchsanstalt für Luft-und Raumfahrt (DFVLR), l'US Department of Energy, le Los Alamos National Laboratory (LANL) et le New Mexico Energy Institute ont collaboré pour faire l'évaluation et la démonstration d'un véhicule perfectionné, alimenté à l'hydrogène, avec stockage à bord de l'hydrogène liquide. Des essais sur route pendant plusieurs mois ont permis de rassembler des données sur le fonctionnement d'une automobile propulsée à l'hydrogène. À la fin de ces travaux en 1982, le

réservoir et d'autres éléments du véhicule ont été donnés à l'Institute for Hydrogen Systems (IHS) pour qu'il effectue des essais dans le cadre d'un contrat subventionné par le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

CONTRAT ESSAIS DE VIBRATION D'UN DEWAR À HYDROGÈNE LIQUIDE INSTALLÉ À BORD

Institute for Hydrogen Systems - Y. Rotenberg,
commencé en août 1984.

OBJECTIF L'objectif de ce projet est de fournir des données susceptibles de faciliter la conception et la fabrication de systèmes de stockage à bord; on utilisera ces données pour définir un plan de certification et pour établir des normes, des codes et des règlements.

RÉALISATIONS La phase I comprenait une évaluation des mesures de sûreté et des exigences relatives à l'exécution du projet, une évaluation des rapports pertinents du LANL et de la DFVLR, une étude des méthodes d'essai de perte de vide et de vibrations et l'identification des méthodes d'essai.

TRAVAUX EN COURS Dans la phase II, on a conçu une installation d'essai comprenant un actionneur hydraulique et une table à secousses à commande asservie; on procède actuellement à sa construction. Cette installation permettra de simuler une variété de mouvements des véhicules dans différentes conditions de route et de conduite. On mesurera les fuites

thermiques, l'élévation de pression et le taux d'évaporation de l'hydrogène. On comparera les caractéristiques de base observées pour le réservoir fixe avec celles obtenues lorsque le réservoir est soumis à des vibrations contrôlées dans des conditions de ventilation libre ou d'élévation de pression en fonction de la quantité d'hydrogène liquide contenue.

PERSPECTIVES D'AVENIR Pour l'instant, il n'y a aucun projet de continuation des essais au-delà de la phase II. Cependant, les besoins liés à la poursuite du travail devraient être réévalués une fois les résultats de la présente phase disponibles.

5.6.2.4 PILES À COMBUSTIBLE

Problématique : Les piles à combustible peuvent convertir directement divers combustibles chimiques en électricité sans que le rendement soit limité par le principe de Carnot, comme c'est le cas pour la production d'électricité avec des moteurs thermiques. Il existe donc un lien direct entre les piles à combustible et les principes d'économie d'énergie et d'utilisation de combustibles de remplacement du Programme énergétique canadien. Étant donné que toutes les piles à combustible utilisées actuellement fonctionnent avec de l'hyodrogène, la responsabilité technique de la R&D en matière de piles à combustible apppartient au Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

La classification et la caractérisation des piles à combustibles est complexe en raison de l'évolution des divers modèles qui varient selon le lieu d'application, le combustible, la structure et les matériaux employés. Par conséquent, il est difficile de choisir la meilleure application pour un environnement donné, comme il est difficile de déterminer les développements susceptibles d'être les plus avantageux pour le Canada.

État des connaissances : Ces dernières années, à la suite surtout des travaux effectués dans le cadre du programme spatial américain, on a atteint le stade où la réalisation commerciale des piles à combustible est imminente. Plusieurs organismes américains importants participent activement à la recherche et au développement en matière de piles à combustible: United Technologies Corp., Energy Research Corp. Engelhard

Industries, General Electric et Westinghouse. Récemment, l'United Technologies Corporation et la Toshiba Corporation ont combiné leurs efforts en vue de commercialiser des centrales à piles à combustible, sous l'appellation International Fuel Cells Corporation. D'autres travaux importants sont en cours à Siemens AG, Brown Boveri et cie et Varta en Allemagne de l'Ouest, à Elenco (Belgique) et à Alsthom (France). En comparaison, l'activité canadienne dans le domaine est minime. Bien que l'activité commerciale canadienne soit faible, il existe un immense potentiel d'application.

Dans le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, une activité portait sur le choix de piles à combustible représentatives de fabrication étrangère qui seraient achetées et mises à l'essai en vertu de contrats individuels. L'application du programme était plus ou moins rapide selon la disponibilité des piles à combustible, l'efficacité de la recherche de contractants appropriés et les besoins de financement.

L'United Technologies, avec l'aide financière du Gas Research Institute, a mis au point une unité d'alimentation de 40 kW. On a commencé un programme d'essais sur le terrain de 44 unités de la même configuration dans des applications industrielles sur place combinant chaleur et électricité; environ trente-et-une entreprises de services publics des E.-U. et du Japon participent à ce programme. Un de ces essais sur le terrain sera effectué au Canada, dans le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

Dans le cadre de ce programme, on a échangé des informations avec la Westinghouse en vue d'acheter une de ses cellules à céramique à température élevée à des fins d'essais.

L'utilisation des piles à combustible dans les transports (comparée aux installations fixes) pose de plus grands défis techniques et économiques et nécessitera donc de plus grands efforts de recherche et de développement. Dans le cadre du programme national des piles à combustible, on procédera à l'essai et à l'évaluation de piles à combustible existantes pouvant être utilisées dans les transports. La première pile que l'on prévoit acquérir est une pile alcaline mise au point par Elenco (Belgique). On prévoit un soutien pour l'amélioration de la technologie étrangère des piles à combustible et pour la R&D relative à des modèles de conception purement canadienne.

CONTRAT PROGRAMME D'ESSAI D'UNE UNITÉ D'ALIMENTATION À PILE À COMBUSTIBLE

B.C. Hydro - M.M. Papic

Commencé en septembre 1984.

OBJECTIF Évaluer une pile à combustible à l'acide phosphorique de 40 kW achetée de l'United Technologies International Inc. Pour faire cette évaluation, on effectuera des essais sur le terrain en vue d'une application canadienne adéquate, et on déterminera les possibilités d'utilisation d'unités similaires ou s'y apparentant en considérant d'autres situations dans différents endroits au Canada.

REALISATIONS L'unité d'alimentation à pile à combustible à l'acide phosphorique de 40 kW de l'United Technologies a été livrée en avril 1984 et conservée à l'Institute for Hydrogen Systems de Toronto avant d'être présentée à la Cinquième conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie, qui a eu lieu à Toronto du 15 au 19 juillet.

Suite à la "demande de propositions" concernant la mise à l'essai de cette pile à combustible, on a reçu douze propositions. Le contrat a été accordé à la B.C. Hydro, dont le plan de travail comprend l'installation de l'unité d'alimentation à pile à combustible, avec des détecteurs et du matériel de saisie de données et de commande, à bord d'une remorque de 40 pieds; on obtiendra ainsi une unité de démonstration à pile à combustible mobile.

Cette unité d'alimentation fonctionnera au gaz naturel, ce qui rend l'utilisation future de la pile à combustible indépendante des sources disponibles d'hydrogène bon marché produit à partir de l'eau. Sur ce plan, en tant qu'entreprise offrant à la fois des services d'électricité et de gaz, le contractant choisi devrait être bien placé pour identifier les applications futures.

TRAVAUX EN COURS À l'heure actuelle, on a terminé le montage de la remorque et on peut maintenant l'envoyer au centre de recherche Surrey de la B.C. Hydro pour l'installation de la pile à combustible. Le "Rapport final des spécifications de conception"

a été accepté et les essais commenceront à Surrey, avec la pile à combustible reliée aux systèmes d'alimentation électrique et d'approvisionnement en eau chaude domestique du centre de recherche. On effectuera des essais en laboratoire pour vérifier les caractéristiques de fonctionnement, déterminer l'efficacité et améliorer la fiabilité du fonctionnement.

PERSPECTIVES D'AVENIR La période d'essai requise pour le programme coopératif du Gas Research Institute prendra fin en août 1986 et les essais additionnels effectués par la B.C. Hydro devraient être terminés en avril 1987. On prévoit qu'un autre site pour la poursuite des essais dans des conditions différentes aura été choisi avant cette date.

CONTRAT ACTIVITÉS D'ACQUISITION DE DONNÉES ET D'ANALYSE POUR L'UNITÉ D'ALIMENTATION À PILE À COMBUSTIBLE DE 40 kW.
Science Applications Inc. (SAI) - C. Racine
Commencé en octobre 1984.

OBJECTIF Concevoir, obtenir et installer un sysrème d'acquisition de données ordinaire pour l'unité d'alimentation à pile à combustible de 40 kW de l'United Technologies, achetée dans le cadre du programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

Lire et analyser les données recueillies et présenter les résultats au CNRC et à l'entreprise de service public.

RÉALISATIONS Pour tirer le maximum du programme d'essais sur le terrain de la pile à combustible du Gas Research Institute, il était nécessaire d'obtenir de chaque site d'essai des données précises et cohérentes. La SAI est le contractant qui a été chargé de la coordination et elle doit définir le système d'acquisition et analyser toutes les données recueillies. Pour l'étude des piles à combustible susmentionnée, le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie bénéficiera de ce système perfectionné de saisie de données et d'analyse.

TRAVAUX EN COURS Les étapes de conception, de spécifications, d'achat, d'essai et de livraison du système sont à toute fin pratique terminées. Les interfaces d'instruments du système électrique et thermique ainsi que les détecteurs seront installés par la B.C. Hydro dès que la pile à combustible sera installée sur le site d'essai. La mise en marche et la formation seront ensuite réalisées.

PERSPECTIVES D'AVENIR Le contrat original prevoyait la collecte de données et l'analyse au site d'essai de la B.C. Hydro et à un deuxième site qui n'est pas encore déterminé, mais en raison des modifications apportées au contrat actuel, cette activité sera discontinuée en mars 1986.

PROGRAMME INTERNE MISE AU POINT D'UNE PILE À COMBUSTIBLE À ÉLECTROLYTE SOLIDE

CANMET (EMR) - T.A. Wheat - commencé en avril 1982
Certaines parties de ce travail sont réalisées en vertu de contrats passés avec l'université Queens (M. Sayer) et

l'université MacMaster (P. Nicholson).

OBJECTIF L'objectif de ce programme est de mettre au point des piles à hydrogène à électrolyte solide. Les travaux comprendront la mise au point d'électrolytes tridimensionnels en céramique conduisant les ions H_3O^+, la mise au point d'électrodes perméables à l'hydrogène et la conception de piles avec empilage optimum et réglage possible des échanges de chaleur. Les techniques de fabrication de l'électrolyte et d'électro-déposition seront ensuite transférées à une installation pilote dans l'industrie.

REALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS On a mis au point une méthode de fabrication du précurseur d'hydronium de β-alumine dans laquelle on utilise des matières premières peu coûteuses disponibles sur le marché et une technique de séchage par pulvérisation classique en vue de remplacer le procédé par lyophilisation coûteux utilisé initialement pour la production de ce matériau au CANMET et à l'université McMaster. Les précurseurs obtenus contiennent une fraction de la composante bêta indésirable de 0,17, la fraction maximale admissible étant de 0,37. L'échange ionique de ces matériaux demeure l'étape la plus critique. Le rendement des matériaux ayant subi un échange partiel est trop faible pour être acceptable et on n'a pas réussi à réaliser un échange complet sans qu'il y ait rupture. On croit que la faible résistance du précurseur est due à l'utilisation d'une matière première relativement grossière et au procédé de séchage par pulvérisation. Dans les essais avec

une matière plus fine, on n'a pas réussi à maintenir la fraction de bêta alumine indésirable au-dessous de 0,37. Les expériences de contrôle réalisées avec des matériaux de grande pureté portent à croire qu'il existe une étroite corrélation entre la taille des cristallites de la matière première et sa teneur en oxyde de magnésium qui est couramment incorporé pour contrôler la croissance du grain dans l'alpha-alumine.

Les travaux portant sur les conducteurs tridimensionnels, dont il a été fait mention précédemment, se sont poursuivis. On avait auparavant converti les zirpsios en hydronium par échange ionique et on avait fait une démonstration dans une cellule simple à air/hydrogène. On a fait un examen plus approfondi de quelques-uns des paramètres de traitement qui jouent un rôle dans la préparation de matériaux frittés pour précurseurs et de leur relation avec le taux de survie à l'échange ionique. On a préparé des disques de 2,5 cm de diamètre qui seront utilisés dans des études préliminaires sur les électrodes. On avait précédemment démontré qu'il est possible de préparer le GASICON et le YASICON par un traitement de la céramique classique, et une demande de brevet a été déposée au nom de la Couronne. Le perfectionnement de ce procédé a permis de démontrer l'efficacité de ces matériaux dans un électrolyseur fonctionnant à la température ambiante. Pour déterminer les caractéristiques des électrolytes, on a utilisé essentiellement comme étalon des électrodes de platine parce qu'elles ont une efficacité reconnue et qu'elles sont

faciles à utiliser. Cependant, aux températures de fonctionnement élevées, on prévoit obtenir une bonne cinétique des électrodes sans utiliser de catalyseurs de métaux ou alliages de métaux nobles, et on travaille à la caractérisation et à la mise au point d'électrodes appropriées.

D'après une étude antérieure, les perovskites de Ni, $NiCoO_3$, $LaNi_5$ et $LaCoO_3$ et quelques-unes de perovskites à base de TiO_2 sont des matériaux candidats pour la fabrication d'électrodes. On a continué à mettre au point des procédés de précipitation, et on a produit une couche fortement liée de $NiCoO_3$ par une décomposition de nitrates mélangés aqueux réalisée soigneusement et suivie d'un recuit à l'hydrogène. On cherche encore à identifier les paramètres de traitement qui influent de façon appréciable sur la conductivité du dépôt et à appliquer le procédé à d'autres composés. On a aussi fait un examen préliminaire de revêtements produits par pulvérisation de plasma.

On monte présentement au CANMET un système automatisé pour caractériser les électrodes en fonction de la température et de la pression partielle dans chaque demi-pile d'une pile à combustible fonctionnant à l'échelle du laboratoire. Ce système devrait pouvoir être utilisé pour des études de polarisation à compter du milieu de 85.

Les électrodes et les électrolytes sont le plus souvent caractérisés à l'aide de techniques électrochimiques qui sont fondées sur l'hypothèse de différents modèles. Bien qu'on puisse

déterminer facilement la polarisation de la concentration par une méthode électrique, il est souhaitable de disposer d'une méthode directe et indépendante de mesure de la morphologie, de la porosité et de la tortuosité des électrodes, étant donné que ces grandeurs sont extrêmement sensibles aux paramètres de traitement antérieur. À l'Ontario Research Foundation, on a commencé une étude dans le but d'identifier des méthodes non électriques utilisables pour caractériser physiquement une électrode et la courbe d'équilibre des trois phases, et qui réduiront la dépendance par rapport aux hypothèses de modèles.

PERSPECTIVES D'AVENIR Des modèles de piles seront mis au point à partir des progrès réalisés dans l'estimation de l'efficacité des électrodes et des électrolytes. Tout au long du projet, on portera une attention particulière à la solution des problèmes possibles associés à la production industrielle.

CONTRAT PILES A COMBUSTIBLE BON MARCHE À ÉLECTROLYTE POLYMÉRIQUE SOLIDE (EPS)

Ballard Technologies Corp. - P. Howard
Commencé en novembre 1983.
Gestion du contrat - Centre de recherches pour la défense d'Ottawa (CRDO),
G.L. Gardner

OBJECTIF Mettre au point des piles à combustible bon marché à EPS, pouvant servir à différentes applications militaires et civiles. Les travaux porteront principalement sur la mise au

point de techniques à base d'EPS qui sont compatibles avec l'utilisation d'hydrogène impur obtenu par réformation d'un combustible liquide, par exemple, le méthanol.

RÉALISATIONS On a mis au point des méthodes efficaces de fabrication de cellules et d'électrodes à base de carbone. On peut maintenant fabriquer des cellules simples d'une superficie de 31 cm^2, pouvant fonctionner à 200 mA/cm^2, à 60 ^oC, et dans lesquelles on utilise de l'hydrogène et de l'air à une pression d'une atmosphère. On n'a observé aucune diminution d'efficacité après un temps de fonctionnement dépassant 500 heures. D'après les résultats obtenus jusqu'ici, les objectifs d'efficacité fixés au début du contrat seront atteints.

On a commencé des travaux dans les domaines suivants : catalyseurs résistant au monoxyde de carbone, conception de cellules et choix de matériaux.

PERSPECTIVES D'AVENIR Les travaux seront axés sur la conception des piles à combustible avec empilage, la mise au point de catalyseurs résistant au monoxyde de carbone et la réduction des charges de catalyseurs pour électrodes.

Trois prototypes de piles à combustible (72 watts) seront livrés en mars 1986.

5.6.2.5 MOTEURS ET SOUS-SYSTÊMES

Problématique : Bien que les piles à combustible soient souvent considérées comme le meilleur moyen de convertir l'énergie de l'hydrogène, la technologie des piles n'est pas encore suffisamment au point pour que l'on puisse prévoir à l'heure actuelle une percée importante sur le marché. On pense que si l'hydrogène doit vraiment être utilisé directement comme combustible dans les moyens de transport, ce sera d'abord dans des moteurs à combustion interne. Étant donné les propriétés de combustion exceptionnelles de l'hydrogène (par exemple vitesse de propagation de la flamme élevée et large domaine d'inflammabilité), un moteur conçu pour consommer de l'hydrogène devrait avoir un rendement de beaucoup supérieur à celui des moteurs à hydrocarbure actuels.

État des connaissances : Il existe de nombreux exemples de moteurs classiques qui ont été modifiés pour brûler de l'hydrogène, et ce depuis de nombreuses années et partout dans le monde. Des essais avec des moteurs expérimentaux ont permis de définir les caractéristiques de combustion de l'hydrogène. Bien que ces premiers travaux soient en grande partie fragmentaires et incomplets, ils permettent de prévoir le rendement possible de ces moteurs à hydrogène, de définir les besoins en matière de recherche et développement, et de restreindre le champ des recherches techniques.

Pour que les moteurs à hydrogène aient un meilleur rendement, ils doivent avoir des rapports de compression supérieurs à ceux des moteurs classiques à essence. Il faut prendre des précautions pour éliminer les effets négatifs de la faible énergie d'inflammation de l'hydrogène qui rend le

fonctionnement irrégulier. On considère que l'alimentation par injection directe est une façon d'éviter ce problème et qu'elle permet en même temps d'obtenir un rendement équivalent à celui d'un moteur diesel actuel, pour le même déplacement. Cela a été prouvé récemment par des expériences japonaises.

CONTRAT ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN MOTEUR DIESEL À INJECTION DIRECTE ALIMENTÉ À L'HYDROGÈNE AVEC ALLUMAGE ASSISTÉ.

Université de Toronto - J.S. Wallace -

Commencé en janvier 1983

OBJECTIF Établir expérimentalement le rendement d'un moteur alimenté à l'hydrogène en utilisant un moteur diesel monocylindre à injection directe, avec niveau de brassage élevé et allumage soit par bougie de réchauffage, soit par étincelle; déterminer le taux d'émission de NO_x.

REALISATIONS On a muni d'instruments et mis à l'essai un moteur diesel Lister en vue d'évaluer son fonctionnement de base lorsqu'il est alimenté en combustible pour diesel. On a représenté graphiquement les caractéristiques d'émission et la consommation de combustible mesurée aux freins pour une gamme de vitesses du moteur. On a évalué les avantages et les inconvénients des concepts appliqués précédemment pour l'injecteur d'hydrogène, et on a choisi, en vue de la conception et de la construction futures, un injecteur hydraulique comprenant une pompe à combustible pour diesel modifiée entraînée par le moteur.

CONSTRUCTION On apporte présentement au modèle les modifications jugées nécessaires d'après les essais effectués sur l'injecteur. On enregistrera les données d'essai et on les analysera en vue du fonctionnement à l'hydrogène avec allumage assisté par bougie de réchauffage. On modifiera une deuxième culasse pour que l'allumage se fasse par étincelle et on notera et analysera les résultats des essais.

PERSPECTIVES D'AVENIR Bien que l'on n'ait pas défini de projets d'étude de suivi, on s'attendait à ce que les travaux conduisent à de nouvelles avenues. Le projet devait être coordonné avec d'autres activités parallèles du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, par exemple avec les travaux sur les vecteurs liquides (CH_3OH) pour lesquels des données sur les propriétés de combustion de mélanges de CO/H_2 étaient nécessaires. Ce dernier aspect a été étudié à l'université de Toronto dans le cadre d'un programme subventionné par le ministère des Transports et des Communications de l'Ontario.

PROGRAMME INTERNE ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN MOTEUR À INJECTION DIRECTE ALIMENTÉ À L'HYDROGÈNE AVEC ALLUMAGE PAR COMPRESSION

Conseil national de recherches (Laboratoires des combustibles et des lubrifiants) - F.R. Billingham -
Commencé en avril 1983

OBJECTIF Concevoir, mettre au point et essayer des méthodes optimisées d'injection d'hydrogène, avec la plus grande densité possible, de façon à obtenir une pénétration et une dispersion maximales facilitant ainsi une combustion homogène contrôlée. On évaluera la combustion et l'auto-allumage avec un mélange d'air et de gaz rare dans un moteur expérimental monocylindre. Comparé à l'air, un fluide à base de gaz rare permet une plus grande augmentation de pression pour un même rapport de compression. Un tel moteur doit évidemment fonctionner en circuit fermé, et l'hydrogène est un combustible idéal car il est relativement facile de condenser l'eau dans le circuit de recyclage.

RÉALISATIONS Le programme comprend trois phases.

Phase I. Conception et mise au point du groupe injecteur/pompe. Le dispositif sera essayé avec de l'azote liquide, puis adapté à l'hydrogène liquide. La phase I est presque terminée.

Phase II. Intégration du groupe injecteur/pompe dans le moteur expérimental. Evaluation de la combustion et de l'auto-allumage dans l'air.

Phase III. Evaluation de l'auto-allumage dans un mélange de gaz rares.

TRAVAUX EN COURS Par un processus réitératif de conception, modification et essai, on a mis au point l'injecteur pour qu'il donne des périodes d'injection adéquates sur toute la gamme des vitesses requises du moteur. On a incorporé les perfectionnements du modèle pour obtenir un injecteur dans sa forme finale, et on a commencé à apporter les importantes modifications du moteur requises pour qu'il y ait compatibilité avec l'injecteur et l'arbre à cames.

PERSPECTIVES D'AVENIR Bien que l'on n'ait pas défini de projet de suivi, on s'attend que les travaux débouchent sur de nouvelles avenues. Le projet sera coordonné avec d'autres activités parallèles du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

CONTRAT ÉTUDE DE LA COMBUSTION DE L'HYDROGÈNE DANS UNE TURBINE À GAZ

Pratt & Whitney Aircraft du Canada Limitée -
P. Sampath - Commencé en janvier 1983

OBJECTIF Évaluer les caractéristiques de combustion de l'hydrogène dans une gamme de conditions simulant le fonctionnement de petits réacteurs à gaz. On examinera l'influence de la conception de l'injecteur de combustible sur le mélange et les caractéristiques de combustion de l'hydrogène. Le projet fournira des données et des recommandations relatives à la combustion de l'hydrogène dans des brûlures de conception classique et permettra d'établir une base de données pour des conceptions plus avancées.

RÉALISATIONS On a évalué la performance de l'hydrogène dans un système à chambre de combustion unique. Pour faciliter les comparaisons, on a effectué les essais dans un brûleur de même configuration que celui utilisé pour l'évaluation de plusieurs spécifications élargies et de combustibles de remplacement dans le cadre d'un programme conjoint États-Unis/Canada existant. Les essais avec l'hydrogène ont été suivis d'essais similaires avec du gaz naturel. (Ces derniers essais ne sont pas subventionnés par le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie).

Les travaux étaient divisés en deux phases consécutives.

Phase I. On a planifié les essais et installé les instruments de mesure. On a surtout étudié les effets des propriétés de l'hydrogène sur la performance de divers types d'injecteurs, les effets de la performance du combustor sur la partie chaude du moteur et les émissions de polluants.

Phase II. Dans les essais et analyses, on a considéré différentes valeurs du rapport combustible-air, de la température et de la pression de l'air d'admission et de la charge du combustor. Les principaux paramètres étudiés étaient :

- température du métal
- caractéristiques de la flamme
- rendement de la combustion
- stabilité de la flamme
- émissions

- distribution de la température
  à la sortie du combustor.

Les essais et analyses ont permis d'identifier des voies de perfectionnement du combustor en vue de tirer profit des caractéristiques de combustion uniques de l'hydrogène.

TRAVAUX EN COURS L'efficacité d'allumage et l'efficacité de fonctionnement indiquent d'excellentes caractéristiques de mélange et de combustion de l'hydrogène et la possibilité d'obtenir un rendement suffisant en utilisant des combustors beaucoup plus petits.

Les émissions d'oxyde nitrique résultant de l'alimentation à l'hydrogène étaient beaucoup plus élevées que celles résultant de l'utilisation du Jet A1 ou du gaz naturel pour tout le spectre de puissances. Cependant, on prévoit que les combustors conçus pour un temps de séjour plus court et une plus faible température de la zone de réaction permettront la réduction requise des émissions de NO_x sans que l'efficacité en souffre.

Il se crée des zones localisées de température élevée des parois de la chambre de combustion lorsque des combustors à combustible liquide sont alimentés en hydrogène. Il en ressort que la durabilité est un facteur important à considérer lorsqu'on envisage l'alimentation à l'hydrogène.

PERSPECTIVES D'AVENIR Dans le rapport final (juin 1984), on recommandait de financer la conception et la construction d'un système de combustion qui tirerait avantage des caractéristiques de combustion de l'hydrogène qui ont été identifiées dans les

phases I et II maintenant terminées. Pour la nouvelle phase, on recommandait l'utilisation d'un moteur de type PT6A modifié.

On recommandait aussi d'évaluer l'effet de l'alimentation en hydrogène liquide sur la conception et la construction du système de combustion.

5.6.2.6 ANALYSE DES SYSTÈMES

Problématique : La réformation par la vapeur du gaz naturel est actuellement au Canada le moyen le moins coûteux de produire de l'hydrogène. On s'attend cependant à ce que cette situation change dans certains endroits en faveur de la production électrolytique basée sur l'énergie nucléaire, hydraulique ou sur toute autre source d'énergie inépuisable.

La possibilité d'obtenir de l'hydrogène à partir de produits non fossiles permettra le développement de nouvelles applications, en particulier dans les domaines où les caractéristiques particulières de la technologie de l'hydrogène comme source d'énergie offrent des avantages.

CONTRAT NOUVELLES UTILISATIONS DE L'HYDROGÈNE COMME SOURCE D'ÉNERGIE AU CANADA

Chemetics International Limited - R.E. Knowlton

Commencé en janvier 1984.

Sous-contractants :
- B.C. Hydro and Power Authority
- Urban Transportation Development Corporation Ltd.
- Canocean Resources Ltd.
- Jarvis Clark Co. Ltd.
- Petrocarbon Developments Ltd.
- Hydrogen Industries Council

OBJECTIF Identifier, documenter et analyser de nouvelles utilisations possibles de l'hydrogène dans des applications canadiennes spécifiques.

RÉALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS Cette activité est orientée vers l'identification de "créneaux" permettant de tirer avantage, dans un proche avenir, des aspects particuliers des techniques d'utilisation de l'hydrogène comme source d'énergie, par exemple la combustion propre et l'absence de pollution due aux hydrocarbures. L'étude est limitée aux applications qui semblent offrir des possibilités raisonnables de mise en application technologique, avoir un côut de mise en application raisonnable et qui sont conformes aux règlements ou aux exigences institutionnelles.

Dans la première phase, les suggestions étaient basées sur des listes des caractéristiques particulières de l'hydrogène ou résultaient des échanges entre les sous-contractants. Dans chaque cas, on cherchait à recueillir suffisamment d'informations pour que la suggestion soit intégrée à un processus de mise au point ou qu'elle soit rejetée. À partir des suggestions faites, on préparera un ensemble de possibilités d'applications de l'hydrogène qui seront soumises à un contrôle interne, et les suggestions retenues seront appuyées par une documentation détaillée; on identifiera en plus les restrictions techniques et non techniques à leur mise en application. La Cinquième conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie qui se tenait par coïncidence à Toronto en 1984 a été un événement favorable à la stimulation des idées. On a prévu qu'il faudrait évaluer une grande variété d'applications possibles aux divers niveaux du processus de sélection. Pour permettre la réalisation de

cette étude, la Chemetics a regroupé une vaste gamme de sous-contractants habitués à répondre aux besoins des usagers dans des domaines spécialisés concernant par exemple les sous-marins, les véhicules pour mines, les avions, les moyens de transport urbain, les services publics de gaz et d'électricité et l'alimentation électrique de secours.

PERSPECTIVES D'AVENIR Les travaux réalisés dans le cadre du présent contrat devaient servir de base à la détermination du contenu et des priorités des activités futures à inclure dans la sous-section Utilisation du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. Aucune des applications identifiées ne devait nécessairement être mise en application, et toute continuation devait dépendre des activités "internes" d'évaluation et d'établissement de l'ordre de priorité.

5.6.3 STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Les techniques de stockage et de conversion de l'énergie constituent le lien entre les nouvelles sources d'énergie et la demande présente et future. À l'heure actuelle, notre principale source d'énergie est le pétrole et nous avons fini par prendre pour acquis de nombreux aspects remarquables du système énergétique que nous avons bâti autour de ce combustible. La présence de pétrole en grandes concentrations dans les dépôts géologiques constitue en elle-même un avantage économique de taille malgré les nuages politiques qui assombrissent de temps à autre les perspectives. Des procédés simples et peu coûteux permettent de produire une vaste gamme de combustibles à partir du pétrole. Ces combustibles ont des densités d'énergie massiques ou volumiques considérables, et ils peuvent facilement être transportés et stockés. Cependant, le pétrole finira pas s'épuiser et nous devons admettre qu'aucune autre source d'énergie ou aucun autre combustible synthétique ne présente les avantages du pétrole.

Lorsqu'on abandonnera le pétrole, il faudra disposer d'un moyen de convertir les énergies de remplacement en des formes d'énergie convenant à diverses applications spécifiques.

Une grande partie de notre énergie future sera sous forme d'électricité. Or, l'électricité est difficile à stocker et il faudra trouver un moyen économique et efficace pour la transformer en une forme plus facile à emmagasiner.

Le stockage permet d'adapter un taux variable de production à une demande variable et de régulariser les débits énergétiques. C'est donc un élément important de tout projet d'économie d'énergie puisqu'il permet d'utiliser de l'énergie produite en des périodes de surabondance pendant des périodes où la demande est maximale. Actuellement, ce problème touche les compagnies d'électricité. Son importance grandira lorsqu'il existera des réseaux de sources intermittentes dispersées comme des installations solaires, des éoliennes et des centrales hydro-électriques à petite échelle.

C'est dans le domaine des transports que le problème du stockage de l'énergie est le plus difficile à résoudre. Les travaux portent surtout sur les combustibles liquides car ces derniers ont une grande densité énergétique (massique et volumique) et ils sont faciles à manipuler.

Les techniques de stockage de l'énergie dépendent souvent de la source d'énergie et de son utilisation finale. Il est alors préférable d'envisager le stockage comme un élément du système énergétique global. Ainsi, le stockage de la chaleur à basse température associé à l'utilisation de l'énergie solaire ne relève pas du Programme de stockage de l'énergie, mais du Programme de l'énergie solaire.

5.6.3.1 STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

ACCUMULATEURS FONCTIONNANT À HAUTE TEMPÉRATURE (Li/FeS)

Problématique : Le Canada ne possède pas encore sa propre industrie de fabrication d'accumulateurs et il s'approvisionne auprès de grandes usines appartenant à des entreprises internationales bien établies. Par conséquent, les bénéfices que le Canada peut escompter d'un programme de subventions à la R et D en matière de technologie classique des accumulateurs sont limités.

La technologie des accumulateurs perfectionnés, qui deviendront un jour indispensables, est beaucoup moins développée. Il y a donc là un créneau possible pour l'industrie manufacturière canadienne.

Pour pouvoir atteindre un niveau d'effort suffisamment important, dans les limites des ressources disponibles, il a été nécessaire de concentrer les travaux sur un seul système, tout en se tenant au courant des autres possibilités développées dans d'autres pays. On a choisi le système à sel fondu lithium/soufre qui a ensuite évolué en un système alliage lithium-aluminium/sel fondu/sulfure de fer (qu'on apelle couramment système lithium-sulfure de fer ou Li/FeS). Les raisons de ce choix sont une sûreté relative, une énergie spécifique potentiellement élevée et la possibilité d'utiliser ces accumulateurs dans des véhicules.

Il est à noter que d'autres organismes subventionnent la mise au point, au Canada, d'accumulateurs au lithium rechargeables fonctionnant à température ambiante (Moli Energy et Ballard Research, deux sociétés de Vancouver).

État des connaissances : À l'heure actuelle, des travaux de R&D sur divers systèmes d'accumulateurs perfectionnés sont subventionnés par tous les pays industrialisés, par les fabricants d'accumulateurs et par d'autres entreprises industrielles et manufacturières concernés par les utilisations futures de ces accumulateurs dans les véhicules électriques, la régularisation de la charge et les applications militaires. Aucun système n'apparaît gagnant pour l'instant. Les accumulateurs plomb/acide occupent toujours la première place sauf dans quelques applications limitées (aviation, espace, etc.). Deux accumulateurs fonctionnant à haute température suscitent un intérêt considérable : il s'agit des accumulateurs lithium/sulfure de fer et des accumulateurs sodium-soufre.

Aux États-Unis, les travaux sur l'accumulateur LiAl/FeS sont coordonnés par l'Argonne National Laboratory et l'EPRI, et divers contrats ont été accordés à des groupes, par exemple Gould Inc., General Motors et Eagle Pitcher. Des travaux sont aussi en cours à Varta (Allemagne) et à l'Institut coréen des sciences et de la technologie. D'importants programmes de développement sont aussi menés au Japon et au R.-U. (British Admiralty). Récemment, on a intensifié les efforts dans le cadre du programme britannique et un contrat de développement industriel a été accordé à la SAFT. Les principaux problèmes concernent la baisse de capacité, le gonflement des électrodes et la mise au point d'un séparateur à faible résistance bon marché.

Le système sodium-soufre est en cours de mise au point aux États-Unis, au Royaume-Uni, en France, en Allemagne et au Japon. Les problèmes concernent la fiabilité mécanique, la résistance aux chocs thermiques,

la sûreté et le coût de l'électrolyte solide de β-alumine. Les efforts canadiens portent sur la mise au point d'accumulateurs LiAl/FeS avec des séparations au nitrure de bore (BN). Il est bien connu que les séparateurs au BN produisent les meilleures cellules, mais il n'existe aucune source connue de feutre de BN. On prévoit qu'en mettant au point une technique de fabrication de séparateurs au BN bon marché et un accumulateur LiAl/FeS à base de BN, le Programme canadien sera en mesure de devancer sur le plan technique les autres projets canadiens. Pour permettre l'application de cette stratégie, on continue à mener deux programmes en parallèle :

1. fabrication d'accumulateurs à deux cellules lithium/sulfure métallique,
2. mise au point de séparateurs pour accumulateurs à haute température.

La réussite de ces deux contrats permettra d'aboutir à l'étape finale du programme, c'est-à-dire à la mise au point de l'accumulateur LiAl/FeS intégré composé de deux cellules avec séparateur en BN.

CONTRAT FABRICATION D'UN ACCUMULATEUR À DEUX CELLULES LITHIUM/SULFURE MÉTALLIQUE -

The Electrofuel Manufacturing Co., Toronto,
S. DasGupta,
Commencé en février 1983.

OBJECTIF Optimiser des accumulateurs à deux cellules LiAl/sel fondu/FeS en utilisant des modèles et des techniques de fabrication convenant à une production industrielle.

RÉALISATIONS On a terminé avec succès la première phase de l'établissement des spécifications industrielles, l'analyse des différentes techniques de fabrication, l'optimisation des coûts cibles et l'identification des sources d'approvisionnement pour les éléments. Les travaux de la phase II du projet progressent de façon satisfaisante; on a produit d'excellents accumulateurs de base à deux cellules.

On a apporté diverses améliorations à la technologie : mise au point de dispositifs internes de retenue des particules d'électrodes, méthode peu coûteuse de production d'électrodes, possibilité d'utiliser un sel de qualité technique, nouveau mécanisme permettant d'assurer l'étanchéité, modèle perfectionné de raccord intermédiaire (borne), méthode de production d'un alliage de qualité pour accumulateur LiAl, cellules et électrodes indéformables.

TRAVAUX EN COURS On dispose de tous les principaux outils et installations nécessaires à la fabrication des cellules. On a construit quinze cellules de base; certaines d'entre elles ont été soumises à une analyse critique des résultats qui servira de point de départ à différentes itérations relatives à la conception.

De nombreux perfectionnements ont été apportés à l'accumulateur à deux cellules et aux éléments de même qu'aux méthodes de production. De plus, on utilise les accumulateurs à deux cellules de base dans des sous-programmes relatifs à la sélection des éléments et des substances et aux techniques de traitement et de fabrication.

L'efficacité et les coûts ont été des cibles importantes de ce programme de mise au point d'accumulateurs à deux cellules, et d'importantes réductions des coûts ont été réalisées au plan de la sélection des matières premières et au plan des méthodes de production. On a mené à terme différents travaux d'optimisation des cellules.

On a construit un prototype d'installation de fabrication de cellules et on a défini les options de conception, de spécifications techniques et de fabrication.

PERSPECTIVES D'AVENIR On est en train de préparer un lot de production d'essai de 40 accumulateurs à deux cellules, et on prévoit fabriquer 100 cellules dans le cadre de ce programme. Certaines appartiendront à des groupes de cellules de base, d'autres seront des modèles perfectionnés.

Une fois les travaux actuels menés à bonne fin, l'étape logique suivante sera la conception, la mise au point et la mise à l'essai d'un prototype d'accumulateur basé sur ces cellules.

PROGRAMME INTERNE ÉVALUATION D'UN ACCUMULATEUR À SEL FONDU

Centre de recherches pour la défense (Ottawa) - W. Adams
Commencé en avril 1980.

OBJECTIF Essayer et évaluer un prototype à échelle réelle d'accumulateur Li/FeS fonctionnant à haute température; on étudiera des cycles de charge et de décharge à long terme à différentes vitesses et températures, et on évaluera les mécanismes de défaillance par des méthodes physiques et chimiques.

RÉALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS Des prototypes de cellules Li/FeS, fruits du programme de recherche d'Hydro-Québec et des travaux plus récents effectués par l'Electrofuel Manufacturing Co., ont été essayés au Centre de recherches pour la Défense (Ottawa) (CRDO). Le CRDO a aussi essayé des cellules provenant d'autres sources, à des fins de comparaison. Ces essais ont une importance capitale car les résultats permettent de définir les domaines où il est nécessaire de poursuivre les recherches. On a presque terminé les travaux d'agrandissement des installations visant à mettre en place un système de recyclage et d'essai de dix cellules commandé par ordinateur afin de pouvoir procéder aux essais des cellules fabriquées dans le cadre du contrat sur les accumulateurs à deux cellules lithium/sulfure métallique. Au début de l'année

financière 1984/85, les traitements du personnel exploitant ces installations ont été transférés au contrat administré par l'Electrofuel Manufacturing Co.

PERSPECTIVES D'AVENIR On a proposé que le CRDO continue d'augmenter son matériel d'essai des accumulateurs. Ce matériel serait éventuellement installé ailleurs et constituerait alors le noyau d'un centre d'essais pour établir un lien entre les intérêts des fabricants et les intérêts des utilisateurs d'accumulateurs perfonctionnés. On explore actuellement un certain nombre d'options qui permettront de poursuivre cette activité.

SÉPARATEURS AU NITRURE DE BORE

Problématique : Le nitrure de bore est un isolant électrique très résistant à la corrosion qui peut être fabriqué sous forme de feutre. Ce matériau a été éprouvé comme séparateur dans les meilleurs accumulateurs Li/FeS à haute température construits à ce jour.

État des connaissances : En 1982, le seul fabricant industriel connu de feutre en nitrure de bore (aux États-Unis) a cessé la production. Il avait été décidé auparavant, dans le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, qu'un modeste effort de recherche pourrait permettre d'améliorer considérablement la qualité et le coût des feutres en nitrure de bore existants. Malgré son coût élevé, le nitrure de bore est le meilleur matériau que l'on puisse utiliser comme séparateur dans les accumulateurs Li/FeS fonctionnement à haute température. Les accumulateurs Li/FeS que l'on a choisi de mettre au point au Canada deviendront concurrentiels si l'on arrive à fabriquer à bon compte des feutres en nitrure de grande qualité.

CONTRAT MISE AU POINT D'UN SÉPARATEUR POUR ACCUMULATEURS FONCTIONNANT À TEMPÉRATURE ÉLEVÉE - PHASE III

Electrofuel Manufacturing Company - S. Das Gupta

Commencé en novembre 1984.

OBJECTIF Mettre au point une installation pilote de fabrication de feutres en nitrure de bore en s'appuyant sur les résultats des recherches et des expériences des phases I et II.

Ce travail permettra de confirmer les résultats obtenus à l'échelle du laboratoire et permettra de mettre sur pied une installation pilote en vue de produire une quantité suffisante de feutres de BN pour répondre aux besoins du Programme de fabrication d'accumulateurs à deux cellules et des programmes subséquentes de mise au point d'accumulateurs qui sont prévus.

RÉALISATIONS Les phases I et II ont été réalisées sur le plan technique à l'Ontario Research Foundation (M.K. Murthy) sous la direction générale de la Blue Mountain Pottery Ltd. (R. Miller). Dans le cadre de la phase III, on a terminé des études techniques sur l'installation pilote et on a présenté le rapport de conception. On a augmenté l'échelle de différents procédés unitaires, on a construit l'installation, et à la mi-mars 1985, on avait produit le premier lot de feutres en nitrure de bore.

TRAVAUX EN COURS On effectue présentement la caractérisation du feutre produit à l'installation pilote par comparaison avec les matériaux produits en laboratoire et avec l'ancien produit de la Carborundum. Le séparateur est mis à l'épreuve tant par une caractérisation externe que par des essais de la cellule sur place.

Les données qu'on est en train de recueillir sur la cinétique de la réaction de nitruration des fibres permettront de poursuivre l'optimisation des procédés unitaires. On surveille continuellement le coût du séparateur en nitrure de bore pour s'assurer de

respecter les limites de prix fixées comme cibles. On a fabriqué des matériaux en fibres de diamètres différents en vue de trouver une méthode peu coûteuse pour rendre les fibres facilement mouillables par le sel fondu. L'installation pilote fonctionne bien et elle est actuellement la seule source de fibres et de feutres de nitrure de bore.

PERSPECTIVES D'AVENIR Les travaux qu'il reste à accomplir dans le cadre du présent contrat seront axés sur une plus grande optimisation des procédés unitaires et sur les modifications de l'installation rendues nécessaires par cette optimisation.

À partir de ce qui était essentiellement un programme de mise au point d'accumulateurs électrochimiques, on est en train de mettre sur pied une installation unique de traitement des céramiques offrant d'intéressantes possibilités de retombées technologiques dépassant le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

ACCUMULATEURS ALUMINIUM AIR

État des connaissances Bien qu'on le désigne le plus souvent comme un accumulateur aluminium/air, ce dispositif présente essentiellement en service les mêmes caractérisatiques qu'une pile à combustible. Du point de vue physique, il est composé d'une anode d'aluminium, d'un électrolyte salin ou alcalin et d'une cathode d'oxygène provenant de l'air ambiant. Pendant la décharge, l'électrode d'aluminium est consommée, et le rechargement s'effectue par un remplacement mécanique de l'anode. Il faut prévoir la circulation de l'électrolyte et en assurer la gestion pour recueillir les produits de la réaction chimique qui subissent ensuite un recyclage externe. Le rechargement mécanique offre des caractéristiques qui diffèrent considérablement de celles des autres accumulateurs, et l'utilisation de ce corcept pour assurer l'alimentation électrique des véhicules se traduit par une augmentation appréciable de l'autonomie, par comparaison avec les véhicules électriques à alimentation classique. En général, l'utilisation d'un électrolyte salin ne permet que de faibles densités de puissance de la cellule, mais l'autre option, c'est-à-dire l'utilisation d'un électrolyte alcalin, permet d'obtenir une cellule ayant une puissance et une énergie élevées, bien que ce soit au prix d'une température de fonctionnement plus élevée (60 °C). À l'heure actuelle, les principaux centres de recherche sur les accumulateurs aluminum/air sont, aux É.-U., aux Lawrence Livermore Laboratories (Cooper) et à la Lockheed Missiles and Space Co. (Littauer).

CONTRAT PROJET DE VÉHICULE ÉLECTRIQUE DE L'ALCAN

Alcan International Ltd. - N.P. Fitzpatrick.
La gestion du programme relève du Centre de développement des transports (CDT) (J. Morgan).
Le financement est assuré conjointement par l'Alcan, le CDT et le CNRC.

OBJECTIF Évaluer les possibilités offertes par les accumulateurs Al/air pour le stockage de l'énergie dans les véhicules routiers. Produire un véhicule électrique ayant une plus grande autonomie et un meilleur rendement en mettant au point un module d'alimentation électrique hydride accumulateur/accumulateur composé d'une cellule aluminium/air et d'accumulateurs classiques.

RÉALISATIONS Depuis 1981, l'Alcan a consacré beaucoup d'efforts à certains aspects de ce système basé sur l'utilisation d'alliages d'aluminium. Un problème que présentait auparavant ce système était le taux élevé de production d'hydrogène à l'anode des cellules devant produire une tension de sortie élevée. On a atténué ce problème en remplaçant le matériau de l'anode par un alliage d'aluminium approprié. Un autre obstacle majeure était l'utilisation de catalyseurs de platine coûteux requis par les cathodes à air (ces cathodes sont aussi utilisées dans d'autres types d'accumulateurs et dans d'autres domaines d'application). L'utilisation de cathodes comprenant de plus faibles quantités de matériau ou constituées de matériaux

moins coûteux a permis de résoudre une grande partie de ce problème.

TRAVAUX EN COURS Voici une liste des activités et considérations incluses dans l'énoncé de travail du contrat :

- Sélection d'un véhicule
- Analyse des besoins d'accumulateur et détermination du rapport optimum accumulateur aluminium/air à l'autre accumulateur.
- Sous-système de gestion de l'électrolyte.
- Gestion thermique
- Spécifications relatives à l'électrolyte, l'anode et la cathode.
- Système de régulation du gaz.
- Conception et essai d'éléments distincts.
- Installation dans le véhicule en vue d'essais au dynamomètre et sur piste.

PERSPECTIVES D'AVENIR Le présent programme de mise au point et de mise à l'essai de systèmes concrets permettra de recueillir des informations d'une grande fiabilité qui sont nécessaires pour l'évaluation de la cellule aluminium/air dans ce mode hybride et aussi, par extrapolation, dans d'autres modes ou d'autres applications. On identifiera les points faibles des accumulateurs et des systèmes et on définira les besoins en matière de recherche et développement.

5.6.3.2 ACCUMULATEUR DE VEHICULE ET SOUS-SYSTÈMES

Problématique: Plus de cinquante pour cent du pétrole utilisé au Canada est consommé par les moyens de transport. Une méthode directe pour remplacer les combustibles à base de pétrole, éventuellement épuisable, par l'énergie électrique de plus en plus disponible consiste à utiliser des véhicules propulsés électriquement grâce à des accumulateurs. Les problèmes d'introduction des véhicules électriques (V.E.) sur le marché ne sont pas liés uniquement à la mise au point d'accumulateurs de densité suffisamment élevée. La mise au point du véhicule et l'optimisation du système au complet dépendent aussi d'autres éléments du véhicule électrique. Le coût de l'électricité au Canada est relativement faible, mais, dans le cas des V.E., cet avantage est contrebalancé par les difficultés et coûts additionnels attribuables à la rigueur du climat en hiver.

CONTRIBUTION RECHERCHE SUR LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

EMR (Division de l'énergie reliée au transport)/Ontario Centre for Automotive Parts Technology - G.B. Maund.

OBJECTIF Réaliser un programme de mise au point, de mise en application et de mise à l'essai de modèles de véhicules perfectionnés qui permettra d'évaluer les possibilités de production au Canada.

RÉALISATIONS ET TRAVAUX EN COURS Après avoir participé activement au groupe de travail de l'Ontario sur les véhicules électriques, la Division de l'énergie reliée au transport a adhéré à une entente de participation avec l'Ontario Centre for Automotive Parts Technology en vue de mettre à l'essai dans les conditions climatiques canadiennes un système perfectionné de transmission et de commande pour véhicule électrique avec accumulateurs plomb-acide et sodium-soufre.

Pour la réalisation du projet, il faut convertir à la propulsion électrique trois fourgonnettes T115 de Chrysler en utilisant un système perfectionné de transmission et de commande conçu et fabriqué par la Brown Boverie Cie de Heidelberg (Allemagne). La conversion du véhicule est prévue pour la fin de l'été; elle sera suivie d'essais de référence périodiques en laboratoire pendant une période d'utilisation de deux ans. Dans les premiers essais, on utilisera des accumulateurs plomb-acide qui serviront de référence; on effectuera ensuite des essais sur des prototypes d'accumulateurs sodium-soufre à densité d'énergie élevée mis au point par la Brown Boveri Cie. L'objectif visé est d'évaluer entièrement l'efficacité, dans les

conditions climatiques canadiennes, de l'accumulateur perfectionné avec le système de transmission et de commande électrique qui comprend un dispositif de régénération d'énergie pour charger les accumulateurs lors du freinage.

Les résultats des essais seront représentatifs des prochains véhicules électriques qui seront alimentés par des accumulateurs à densité d'énergie élevée. En plus de fournir des données concernant l'efficacité sur route, les essais permettront de déterminer les rendements électrodynamiques du combustible en service, les conditions de charge et les charges imposées aux systèmes d'alimentation électrique domestique.

Les données concernant l'exploitation préliminaire, l'entretien et la durée de l'accumulateur permettront de se faire une idée sur la viabilité de ces véhicules utilisés pour la livraison urbaine et sur leurs possibilités d'utilisation comme automible privée, ce qui intéresse l'industrie canadienne des pièces automobiles.

PERSPECTIVES D'AVENIR Les résultats du présent projet serviront de guide pour l'évaluation des véhicules électriques et pour l'identification des besoins futurs en matière de recherche et développement.

CONTRAT VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Transports Canada - W.J. Johnson et J. Morgan -

Commencé en avril 1983

Transports Canada dirige un programme de contrats industriels relatifs aux sous-systèmes et aux éléments d'un véhicule électrique. Il s'agit de la continuation d'un programme existant. Les travaux incluent la mise au point et l'évaluation de chargeurs améliorés pour les batteries des véhicules électriques, ainsi que la mise au point et l'évaluation de boîtes de transmission à rapport variable en continu.

A.C. Statpower (Vancouver) a travaillé à perfectionner le chargeur qui, bien que comparable aux meilleurs systèmes offerts, n'a pas une place assurée sur le marché en raison de la tendance à incorporer des chargeurs dans des systèmes globaux de commande électrique des véhicules.

L'industrie de l'automobile s'intéresse à la boîte de transmission à rapport variable en continu de Kerrtrain Systems Ltd. (Kingston) en vue de son application dans les véhicules conventionnels plutôt que dans les véhicules électriques.

CONTRAT ANALYSE DES BESOINS DE R ET D SUR LES SOUS-SYSTÈMES DES SYSTÈMES FUTURS À CARBURANT SANS HYDROCARBURE DESTINÉS AUX VÉHICULES

Davis Engineering Ltd., A. Bosik -
Commencé en mars 84.
Sous-contrats accordés à Booz-Allen Hamilton et au Canadian Institute for Guided Ground Transportation

OBJECTIF Déterminer les besoins de recherche et développement sur les sous-systèmes des systèmes de stockage de carburant sans hydrocarbure éventuellement applicables aux véhicules dans les conditions canadiennes, pour la période 1990-2000. Élaborer une méthode de classification de ces besoins par ordre d'importance.

RÉALISATIONS Une étude portant sur la documentation existante et les industries a permis d'identifier les cinq catégories suivantes de systèmes sans hydrocarbure:

- stockage électrochimique - par exemple: accumulateurs et piles à combustible
- systèmes de stockage de l'hydrogène
- stockage mécanique - comprenant à court terme des systèmes à volant d'inertie, à accumulateur hydraulique ou à air comprimé
- stockage thermique - conjointement avec des moteurs Stirling à combustion externe; on considérait que ce système serait disponible après l'an 2000
- systèmes hybrides - ils comprennent généralement une unité d'alimentation électrique primaire et une unité de stockage de régularisation de la puissance.

On a identifié les besoins de R et D sur les sous-systèmes ainsi que les barrières techniques empêchant de répondre à ces besoins.

On a défini les principaux segments du marché et, en se basant sur des paramètres d'exploitation appropriés, on a défini les caractéristiques d'un véhicule représentatif

de ces secteurs en vue d'élaborer des scénarios d'applications réalistes.

On a regroupé les segments du marché et les systèmes pour véhicules et on a procédé à des éliminations en se basant sur la faisabilité technique ou le possibilité de réalisation, ou les deux; on a ensuite fait d'autres éliminations lorsqu'on pouvait prévoir que la concurrence avec le système à alimentation aux hydrocarbures de base était insuffisante. Dans l'évaluation de la rentabilité et du degré de concurrence, on a tenu compte de la disponibilité du combustible et de la capacité de ravitaillement. Dans les besoins concernant le système, on a inclus les besoins et les capacités canadiens, particulièrement ceux attribuables au climat et à la démographie.

On a fait un relevé des institutions concernées afin de déterminer les capacités canadiennes et d'évaluer leurs programmes courants dans le cadre des activités internationales.

TRAVAUX EN COURS On a élaboré un plan de comparaison par matrice permettant de classer les besoins identifiés en matière de R et D. On analyse la sensibilité du besoin de R et D se classant au premier rang en fonction des hypothèses de base utilisées dans l'élaboration du plan de classement.

Les besoins de recherche future comprennent une augmentation appréciable du degré de concurrence du système et sa réalisation dans la période 1990-2010. De plus, pour justifier la participation du gouvernment fédéral, les efforts consacrés actuellement aux secteurs problèmes doivent être insuffisants et la probabilité de participation de l'industrie sans encouragement de la part du gouvernement doit être faible.

Les autres facteurs souhaitables dans les activités de R et D proposées sont notamment l'utilisation des capacités, des marchés ou des ressources naturelles particulières du Canada, l'augmentation du niveau de concurrence du système, la mobilisation de l'alimentation électrique, la résolution des problèmes courants de R et I,

la collaboration soit entre l'industrie et le gouvernement, soit à l'échelle internationale, la réduction des coûts et l'augmentation de la sûreté et de l'efficacité.

Le rapport final comprend les six volumes énumérés ci-dessous et un sommaire administratif.

Volume I: Vue d'ensemble

Volume II: Scénarios d'applications aux véhicules à système sans hydrocarbure

Volume III: Coûts associés au cycle de vie des systèmes sans hydrocarbure

Volume IV: Obstacles techniques liés aux sous-systèmes sans hydrocarbure, besoins de R et D et coûts du développement

Volume V: Méthodes d'allocation des ressources

Volume VI: Plan d'application des systèmes à volant d'inertie.

PERSPECTIVES D'AVENIR L'évaluation des besoins de recherche et développement par les méthodes élaborées dans le cadre du présent contrat devait servir de base

à la mise sur pied d'un programme de recherche et développement sur les sous-systèmes des véhicules et à l'évaluation de nouvelles propositions.

5.6.3.3 STOCKAGE MÉCANIQUE

VOLANTS D'INERTIE

Problématique: Pour répondre aux variations de la puissance sollicitée, pendant le fonctionnement d'un véhicule, on emploie généralement un moteur de puissance largement supérieure à la moyenne requise. Il en résulte une diminution du rendement global. Les volants d'inertie peuvent être un moyen peu coûteux de stocker de l'énergie pendant de courtes périodes et ils sont capables de fournir de grandes densités de puissance. On peut atteindre une performance équivalente à celle d'un moteur normal à combustion interne avec un haut rendement global en utilisant un système hybride comprenant un volant d'inertie et une petite source d'énergie comme une pile à combustible, une batterie ou un petit moteur à combustion interne. Le volant d'inertie est un moyen pratique de récupérer l'énergie perdue dans les décélérations et de l'utiliser dans les accélérations. Il existe de grandes possibilités d'application des volants d'inertie dans les systèmes fixes ainsi que dans le domaine des transports.

État des connaissances: La Société de développement du transport urbain a terminé en mars 1977 une étude sur le développement de la technologie du stockage de l'énergie dans des volants d'inertie pour des applications dans les transports canadiens. On connaît plusieurs

centres de recherche (aucun au Canada) où diverses conceptions sont à l'étude mais aucun ne fait figure de chef de file.

Le Canada a accès aux programmes fédéraux américains grâce à un accord signé avec le principal organisme de recherche dans ce domaine, les Lawrence Livermore Laboratoires (LLL). Des volants d'inertie de composition mixte, de haute performance, sont évalués à l'Oak Ridge Flywheel Evaluation Lab., dans le cadre d'un sous-contrat avec LLL. En 1980, on a évalué dans ces laboratoires des prototypes construits par Garrett-AiResearch, William M. Brobeck & Associates, Hercules Aerospace et Rockwell-Rocketdyne (tous construits sous contrat avec Sandia National Laboratories), un prototype construit par LLL et un par General Electric. Les principaux facteurs limitants dans la conception semblent être liés à l'instabilité à grande vitesse résultant de problèmes de solidarité entre l'axe et la lourde jante.

Les Japonais étudient un véhicule hybride équipé d'un volant d'inertie et d'un moteur Stirling, dans le cadre du projet Moonlight et, en Europe, des travaux sur les volants d'inertie sont en cours dans les laboratoires de l'Aérospatiale (France), de Fiat (Italie), de Volvo (Suède), de M.A.N. (Allemagne), à la ECN Netherlands Research Foundation (Pays-Bas) et à la British Petroleum Co. (Angleterre).

CONTRAT VOLANTS D'INERTIE - CONCEPTION, TECHNIQUES DE FABRICATION ET ESSAIS DE PERFORMANCE DES MATÉRIAUX

Université d'Ottawa - R.C. Planagan -

Commencé en juin 1980

OBJECTIF Sélectionner, fabriquer et essayer des matériaux non isotropes destinés à la construction de volants d'inertie. Se servir de la base de données obtenues pour choisir une conception optimale, puis construire et essayer un volant d'inertie de 1kWh.

RÉALISATIONS Une base exhaustive de données relative aux principes de conception, aux caractéristiques des matériaux, à la performance et aux techniques de construction a été mise sur pied. On s'est ensuite servi de cette base de données pour réduire le domaine de conceptions possbiles d'un volant d'inertie de composition mixte à base de fibres. On a fait l'analyse (distribution des contraintes dans le rotor, etc.) de tous les modèles de rotors dont il est fait état dans la documentation. Le matériau clé et les principales conceptions ont été définis. La base de données a été élargie avec les résultats de la fabrication et des essais des matériaux et des volants construits pour vérifier la faisabilité

des conceptions. Dans le cadre de contrats antérieurs, on est passé de la fabrication de modèles réduits pour prouver la faisabilité du principe à la fabrication de volants de taille réelle. Les résultats des essais permettent une mise à jour continue de la base de données, et les dernières mesures ont été faites sur des échantillons d'essais provenant de composantes grandeur réelle.

Les méthodes de fabrication et d'assemblage doivent servir de base au processus de sélection des modèles. Les travaux effectués en parallèle et subventionnés par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie ont permis de perfectionner le moyeu et son dispositif de fixation jusqu'à un degré de compatibilité avec les caractéristiques et les capacités des rotors.

Dans le cadre des travaux concernant un volant d'inertie pouvant fournir une énergie de 1 kWh et utilisable dans un véhicule automobile, le nombre de modèles prometteurs a été réduit à quatre, sur une possibilité de cinquante-six. Ces quatre modèles ont une structure en anneau composé de plusieurs matériaux et sont supérieurs à tous les autres modèles connus. Il faut ajouter ques contraintes liées à l'application à des véhicules routiers sont très rigoureuses et que les modèles sélectionnés sont soumis à ces contraintes; par exemple, la séquence de rupture prévue des modèles de

rotors sélectionnés facilite les opérations relatives au confinement et à la sûreté, tandis que le modèle à anneau épais se prête à la production de masse.

TRAVAUX EN COURS On a finalisé les quatre modèles de rotors sélectionnés, et on procède actuellement à leur fabrication et à leur assemblage. En vue de l'essai des rotors, on a mis en service une installation d'essais dynamiques avec capacité de recyclage et surveillance de la température commandées par ordinateur.

PERSPECTIVES D'AVENIR On a recommandé d'effectuer des essais au banc grandeur réelle avant de mettre en application le véhicule, car cette façon de procéder est le moyen le plus simple d'assurer le contrôle et la surveillance nécessaires à l'identification des faiblesses non encore corrigées.

Il reste à trouver un partenaire industriel en mesure d'effectuer ce travail.

5.6.3.4 STOCKAGE THERMIQUE

Problématique: Le chauffage des locaux résidentiels et commerciaux est le domaine privilégié pour le remplacement du pétrole par une autre forme d'énergie. Le passage à l'électricité peut entraîner une augmentation de la demande en électricité, ce qui se traduit par une augmentation coûteuse de la capacité de production pendant les périodes de faible utilisation. Le principe de régularisation de la charge permet d'étaler les pointes: on stocke l'énergie produite pendant les périodes creuses pour l'utiliser en période de pointe. Le stockage peut être central ou dispersé. Ce dernier mode présente l'autre avantage de pouvoir répartir les pointes dans le réseau de distribution.

État des connaissances: Parmi toutes les méthodes de stockage de l'énergie thermique, ce serait le stockage de la chaleur sensible à haute température qui serait le plus rapidement applicable au Canada. De tels systèmes sont employés avec succès dans d'autres pays depuis de nombreuses années, mais la technologie importée ne convient pas au Canada en raison principalement des différences dans les types d'habitations et dans les conditions climatiques. Le propriétaire qui achète un dispositif de stockage de la chaleur doit y trouver un avantage financier. Ce stimulant peut prendre la forme de tarifs variables au cours de la journée. De plus en plus de compagnies de distribution offrent des tarifs "période creuse" aux États-Unis (39 états); il n'existe actuellement aucun tarif domestique "période creuse" au Canada.

Trois fabricants occupent actuellement une place dominante sur le marché du stockage de la chaleur; ce sont :

- Hewitt (R.-U.)
- Stiebel-Eltron (Allemagne de l'Ouest)
- Tennessee Plastic Inc. (TPI) (E.-U.)

CONTRAT "SYSTÈMES DE STOCKAGE DE LA CHALEUR POUR DES APPLICATIONS DOMESTIQUES ET INDUSTRIELLES"

Chromalox Canada - C.R. Hollaman -
Commencé en février 1978
Sous-contrat - Ontario Research Foundation (ORF) -
M.K. Murthy

OBJECTIF Le contrat comprenait plusieurs phases. L'objectif global était de sélectionner, concevoir, fabriquer, essayer et commercialiser un dispositif de stockage de l'énergie thermique destiné plus particulièrement au marché domestique.

RÉALISATIONS Lors de la phase I, on a identifié, choisi et évalué les conditions requises pour la mise au point d'un milieu efficace de stockage de la chaleur. On a aussi évalué divers matériaux pour le stockage et le

confinement de la chaleur sensible et de la chaleur latente.

Au cours de la phase II, on a établi les conditions requises pour la conception d'une chaudière de stockage de la chaleur sensible dans des conditions canadiennes, on a évalué les caractéristiques du système et on a fabriqué des échantillons de briques en oxyde de fer.

Au cours de la phase III, on a conçu, construit et essayé un prototype Mk I de stockage de la chaleur de 140 kWh, et l'on a mis au point une nouvelle brique très dense qui sera utilisée dans les futurs prototypes Mk II. Les chercheurs ont mis au point un système de réglage d'une grande souplesse qui permet de faire varier les taux de charge, jusqu'à une capacité optimale, suivant les besoins prévus. La souplesse du réglage est un élément important auquel les concurrents n'ont pas attaché une grande importance. Ce système peut s'adapter aux différentes méthodes de réglage de diverses compagnies distributrices de l'électricité et il peut aussi être utilisé de façon autonome. Les essais ont été conduits par Chromalox et Hydro-Ontario. Hydro-Ontario a depuis acheté cinq dispositifs qui sont à l'essai sur le terrain.

Au cours de la phase IV, les chercheurs de l'ORF ont déterminé les propriétés thermiques, physiques, chimiques et électriques des briques de stockage thermique. Chromalox a effectué une première optimisation des dispositifs de stockage, et plusieurs chaudières Mk II équipées des nouvelles briques ont été construites pour des essais en laboratoire.

Dans le cadre de la phase V, on a amélioré la conception et la technologie des dispositifs de stockage de la chaleur en termes de coûts, d'exigences de réglementation et de performance. On a conçu et construit le prototype Mk II de seconde génération en utilisant comme matériau de stockage de la chaleur la "Chromalite" produite par l'ORF. Plusieurs modèles de tailles différentes ont été mis à l'essai, notamment un dispositif se trouvant dans une installation d'essai du CNRC à Ottawa, fourni par la Division des recherches en bâtiment du CNRC.

Pour l'année financière 1983-1984, ce programme a été financé par le Groupe sur les économies d'énergie de l'ORDRE, dans le cadre du Programme du chauffage des locaux.

Dans le cadre de la phase VI, on a poursuivi la conception et la mise au point afin de combler les lacunes identifiées à la phase V lors de l'essai des modèles Mark II. On a perfectionné un modèle Mark III dont on a fait une évaluation de la sûreté et du rendement au cours de l'hiver 1983/84. Les modèles Mark III ayant servi à la démonstration ont été placés dans des résidences privées dans le cadre de programmes d'essai d'entreprises de service public comme suit:

- Deux des prototypes Mark II (phase V) ont été intégrés dans le programme de gestion de la charge d'Hydro Ontario.
- Deux modèles Mark II de 120 kWh ont été utilisés dans des essais sur le terrain en cours effectués avec l'American Electric Power, Columbus (Ohio), É.-U.
- Un modèle Mark III de 120 kWh et un de 175 kWh ont été confiés à la United Power Association, Elk River (Minn.), É.-U.

Les ententes convenues avec ces entreprises de service public permettent à la Chromalox et au CNRC d'obtenir des données en retour. Des commentaires favorables ont été reçus des entreprises de service public et des propriétaires qui ont participé à ce programme de démonstration.

TRAVAUX EN COURS Au cours de l'hiver 1984/85, on a poursuivi avec succès la démonstration du modèle Mark III par des essais sur le terrain, et on a reçu une demande pour que les chaudières soient laissées où elles se trouvent présentement.

PERSPECTIVES D'AVENIR Le facteur clé dans la commercialisation de ces dispositifs de stockage de la chaleur est l'établissement d'un tarif variable au cours de la journée qui incitera les propriétaires à acheter le dispositif.

On prévoit un important potentiel d'exportation vers des pays où les besoins sont similaires à ceux du Canada, comme les États du nord des États-Unis, où des tarifs variables sont déjà en application.

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (AIE)

L'Agence internationale de l'énergie est un organisme autonome à l'intérieur de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Le Canada participe à des programmes coopératifs dans le cadre de l'Accord sur l'hydrogène signé en octobre 1977. Parmi les autres participants, on retrouve de nombreux pays européens ainsi que le Japon et les États-Unis.

Le tableau de la page 143 montre les différents groupes du Programme sur l'hydrogène de l'A.I.E., et le tableau de la page 120 montre la participation des différents pays au programme.

Le programme coopératif sur l'hydrogène de l'Agence internationale de l'Énergie a fait l'objet d'une présentation par J.R. Whitehead et J.B. Taylor à la 5^{e} Conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie, tenue à Toronto en 1984.

Il faut noter que le représentant canadien, J.B. Taylor, du CNRC, était président du Comité exécutif. Il est de tradition que le pays d'origine du président fournisse aussi le service de secrétariat. Il existe un doute quant aux futures activités du Canada dans le cadre de l'entente de l'AIE relative à l'hydrogène. Un avis de retrait a été présenté; il pourriat entrer en vigueur en mars 1986. Les décisions concernant la poursuite des activités appartiennent au ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, qui est le signataire du gouvernement dans cette entente.

CONTRAT FORMATION D'UN SECRÉTARIAT POUR LE COMITÉ EXÉCUTIF DE L'HYDROGÈNE DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE

J.R. Whitehead - Ottawa

Commencé en juin 1984.

OBJECTIF La mission du secrétariat telle que définie par le contrat est la suivante :

- Servir de lien entre les responsables des opérations, le président du comité et le secrétariat de l'A.I.E. à Paris.

- Offrir des conseils en matière de procédures, d'actions et de protocole.

- Participer à la planification, à la mise en application et à la révision des programmes.

RÉALISATIONS Ce contrat a expiré en novembre 1985; il n'a pas été renouvelé. On a continué de répondre au besoin par l'intermédiaire du contrat décrit ci-dessous.

ANALYSE TECHNO-ÉCONOMIQUE ET ÉVALUATION DE PROGRAMME (MISE EN APPLICATION DU PROGRAMME SUR L'HYDROGÈNE DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE)

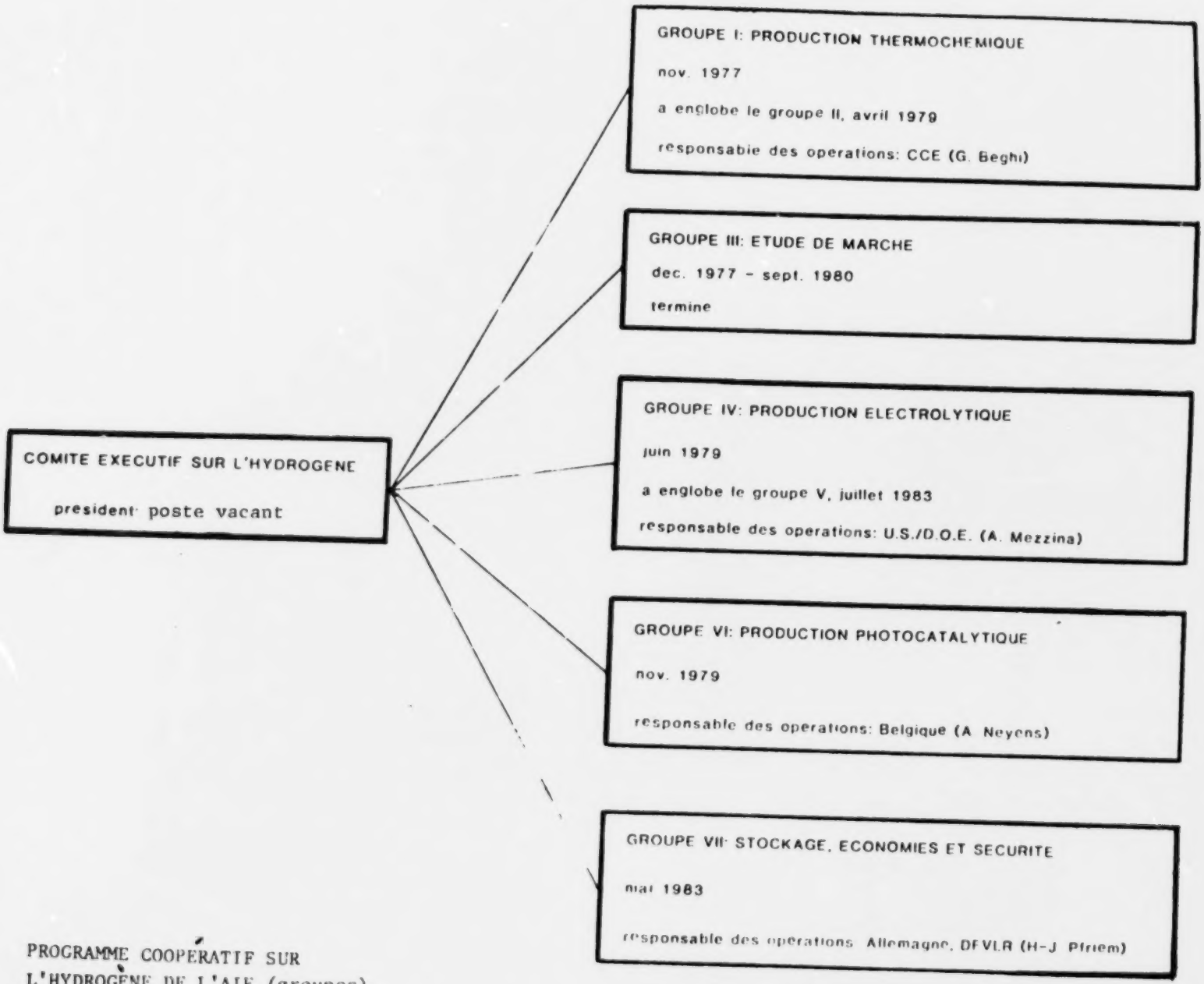
Hydrogen Industries Council (HIC) - R. Champagne

OBJECTIF Ce contrat comprend deux activités principales indépendantes :

1. Le HIC sera chargé d'offrir les services de secrétariat au Comité exécutif de l'AIE, tels qu'ils étaient offerts dans le cadre du contrat susmentionné.
2. Le HIC sera chargé de la planification et de l'organisation d'un nouveau Groupe, "Analyse techno-économique", qui sera proposé à l'AIE en tant que Groupe VIII.

RÉALISATIONS Le représentant canadien (et président) du comité exécutif de l'AIE a démissioné en novembre 1985. Les services de secrétariat ont continué d'être offerts, à un niveau réduit, de façon à permettre le transfert à un nouveau président du comité qui devrait être choisi lors de la prochaine réunion en mai 1985.

En raison du manque de fonds, la contribution du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie à l'objectif 2 a été réduite à une compensation pour les frais de déplacement et de secrétariat liés à la phase de planification du nouveau groupe.



PROGRAMME COOPÉRATIF SUR
L'HYDROGÈNE DE L'AIE (groupes)

juin 1985

PAYS	PARTICIPANT	PARTICIPATION AUX GROUPES DE TRAVAIL				COMITE EXÉCUTIF	
		I	IV	VI	VII	MEMBRE	MEMBRE SUPPLÉANT
BELGIQUE	. Centre d'étude de l'énergie nucléaire		X	X		F. Altdorfer	H. Vandenborre or M. Reniers
CANADA	. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources		X	X	X		
	. Noranda Mines Ltd.						
	. Electrolyser Corp.						A.K. Stuart
CCE	. Commission des communautés européennes	X	X	X		A. Sturb	G. Beghi
ALLEMAGNE	. Kernforschungsanlage JÜlich	X	X		X	N. Stump	B.D. Struck
ITALIE	. Comitato Nazionale per L'Energia Nucleare		X			S. Ferrari	S. Sabbadini
JAPON	. Gouvernement du Japon	X	X		X	T. Hirano	H. Irisawa
SUÈDE	. Commission de recherches sur l'énergie				X	B. Finnström	
SUISSE	. Département Fédéral de l'Intérieur			X	X	P.E. Zinsli	-
ROYAUME-UNI	. The City University of London		X			A.C. Tseung	K.E. Langley
USA	. US Department of Energy	X	X	X	X	J.J. Brogan	M. Gurevich

Responsable des opérations: Groupe I : Production thermochimique: CCE, par l'intermédiaire du Centre unifié de recherche-G. Beghi

Groupe IV : Production électrolytique: US DOE, par l'intermédiaire du Brookhaven National Labotary-A. Mezzina

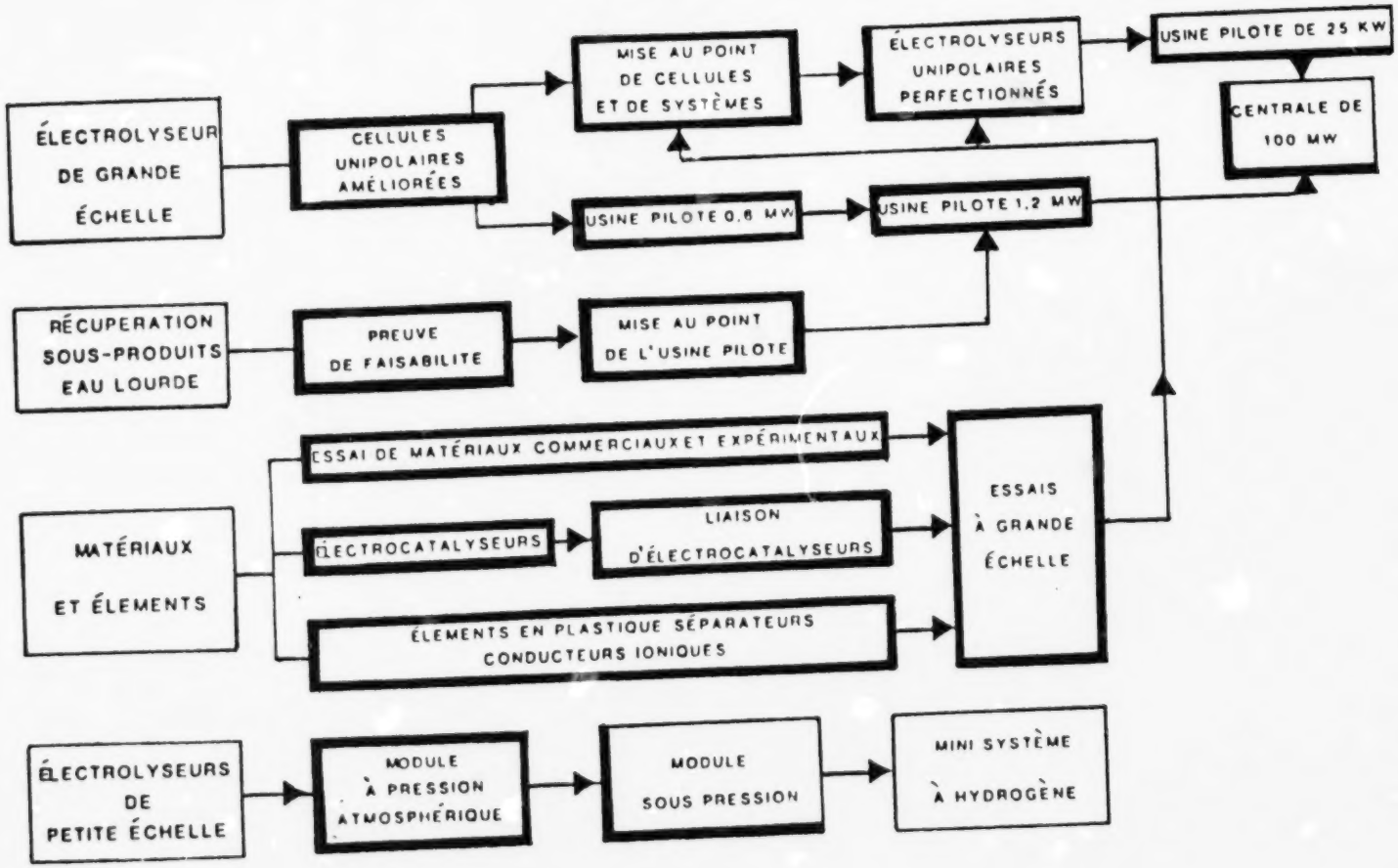
Groupe VI : Production photocatalytique: Katholieke Universiteit Leuven, Belgique-A. Reyens

Groupe VII : Stockage, conversion et sécurité: Allemagne, par l'intermédiaire de DFVLR-H.J. Pfriem

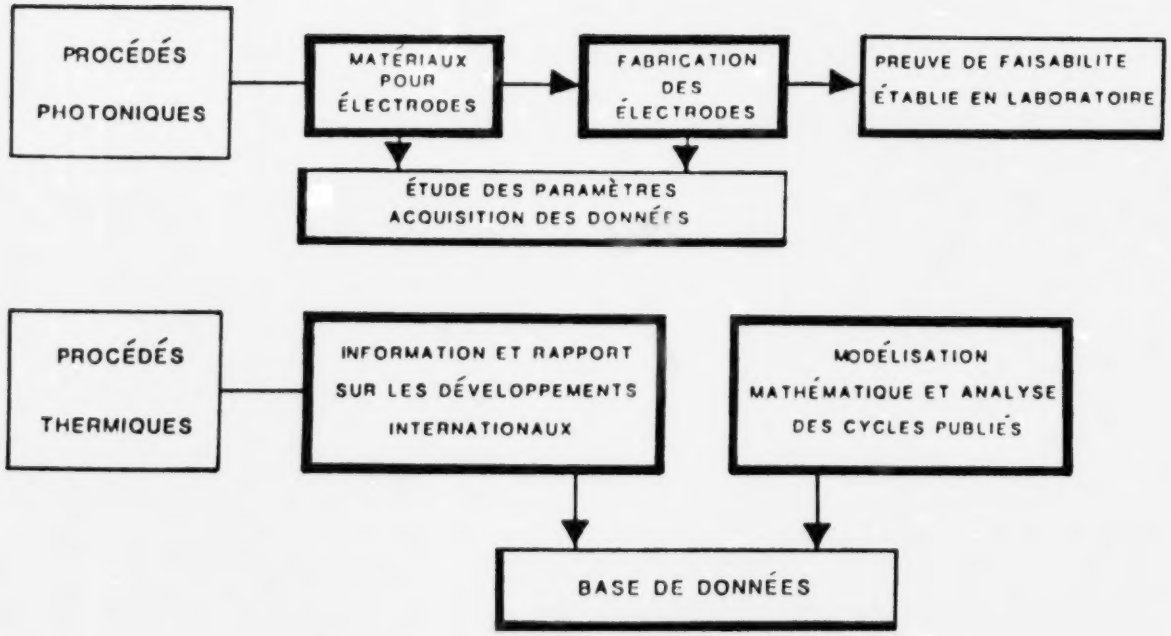
PROGRAMME SUR L'HYDROGÈNE DE L'AIE
(participation des pays)

CINQUIÈME CONFÉRENCE MONDIALE SUR L'HYDROGÈNE POUR L'ÉNERGIE

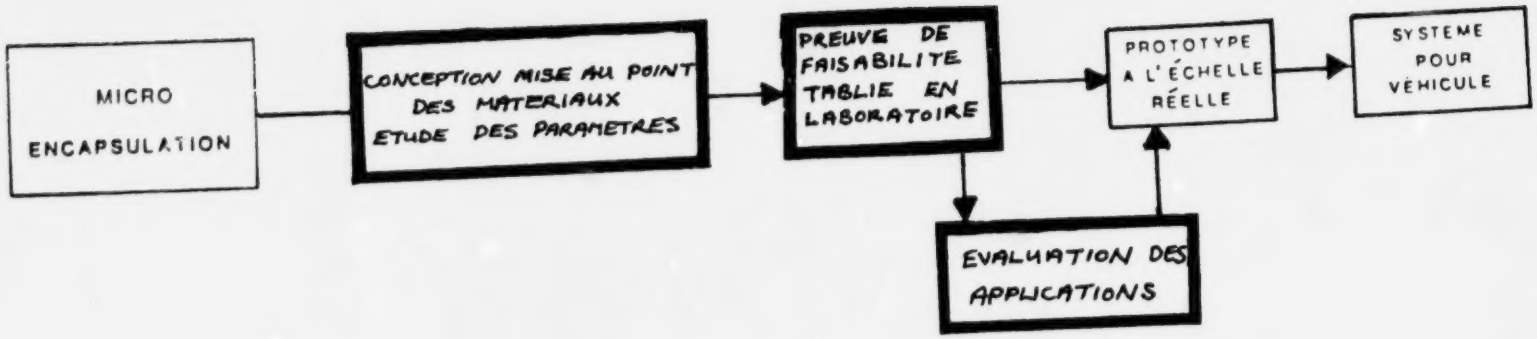
La Cinquième conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie a eu lieu à Toronto (Canada) du 15 au 20 juillet 1984. Le Conseil national de recherches, par l'intermédiaire du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, se chargeait de l'organisation et du financement de cette conférence biennale. Le comité organisateur national, présidé par J.B. Taylor, comprenait des représentants de tous les secteurs canadiens spécialisés en hydrogène. Des délégués de trente-et-un pays ont participé à la conférence. On a profité pleinement de cette occasion unique pour créer un climat favorable aux échanges entre les divers secteurs de l'hydrogène, tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale. L'une des différences marquantes entre cette conférence et les précédentes était probablement le profil accru de la participation de l'industrie, fortement encouragée par l'Hydrogen Industries Council. Le thème de la conférence, transitions à l'hydrogène, était le sujet du discours-programme présenté par M. Richard Champagne de l'Hydrogen Industries Council. Le ton de la conférence reflétait inévitablement la nécessité d'une nouvelle orientation en raison des changements récents des priorités nationales qui se sont éloignées du sujet dominant que représentait l'énergie au cours des années 1970. L'idée d'une économie basée sur l'utilsation de l'hydrogène dans toutes les applications a, du moins temporairement, été mise de côté, et on s'intéresse maintenant plutôt aux créneaux particuliers dans lesquels les propriétés de l'hydrogène pourraient le plus avantageusement être mises à profit.

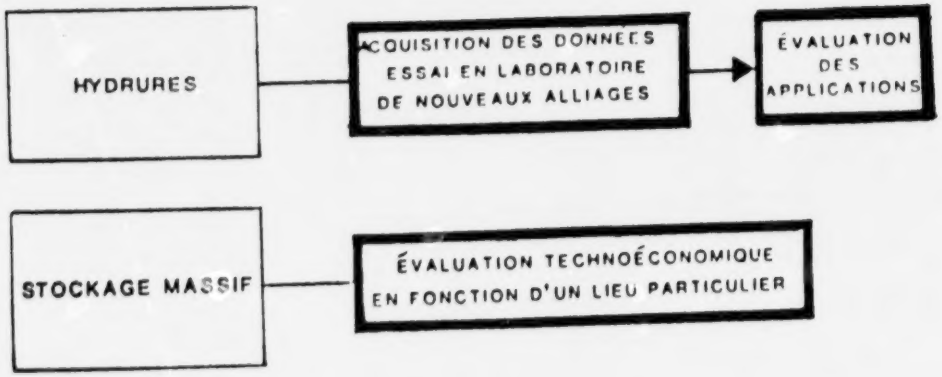


PROGRAMME DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE - ÉLECTROLYSE
(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)

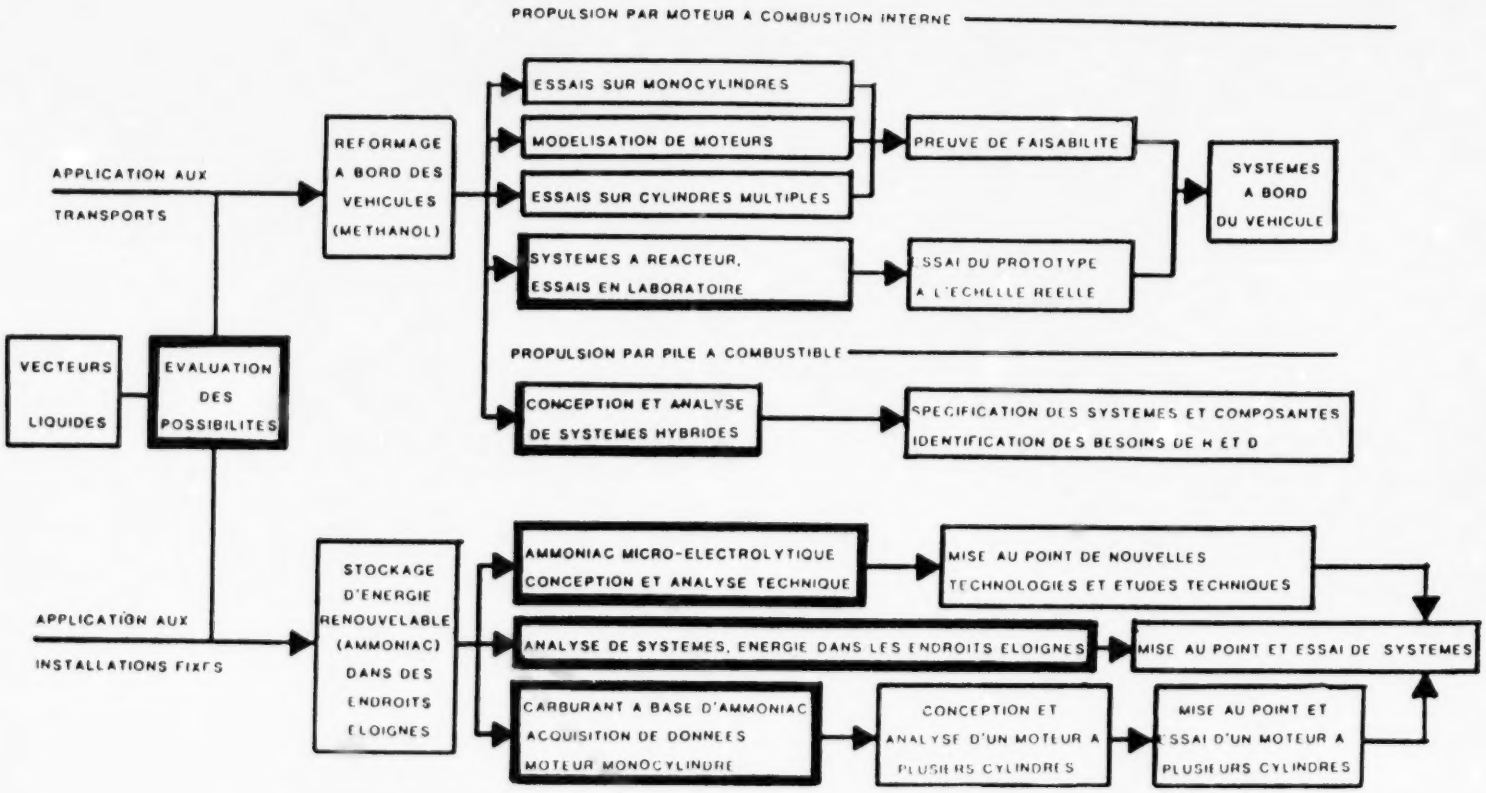


PROGRAMME DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE - SOURCES PHOTONIQUES ET THERMIQUES
(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)



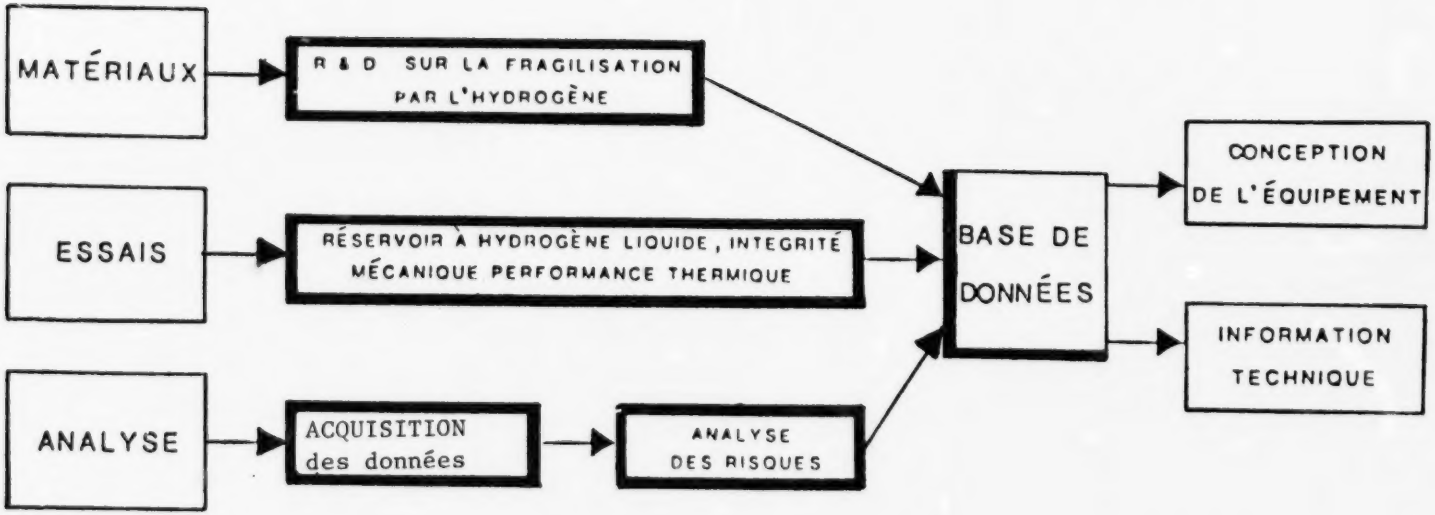


PROGRAMME DE STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE
(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)

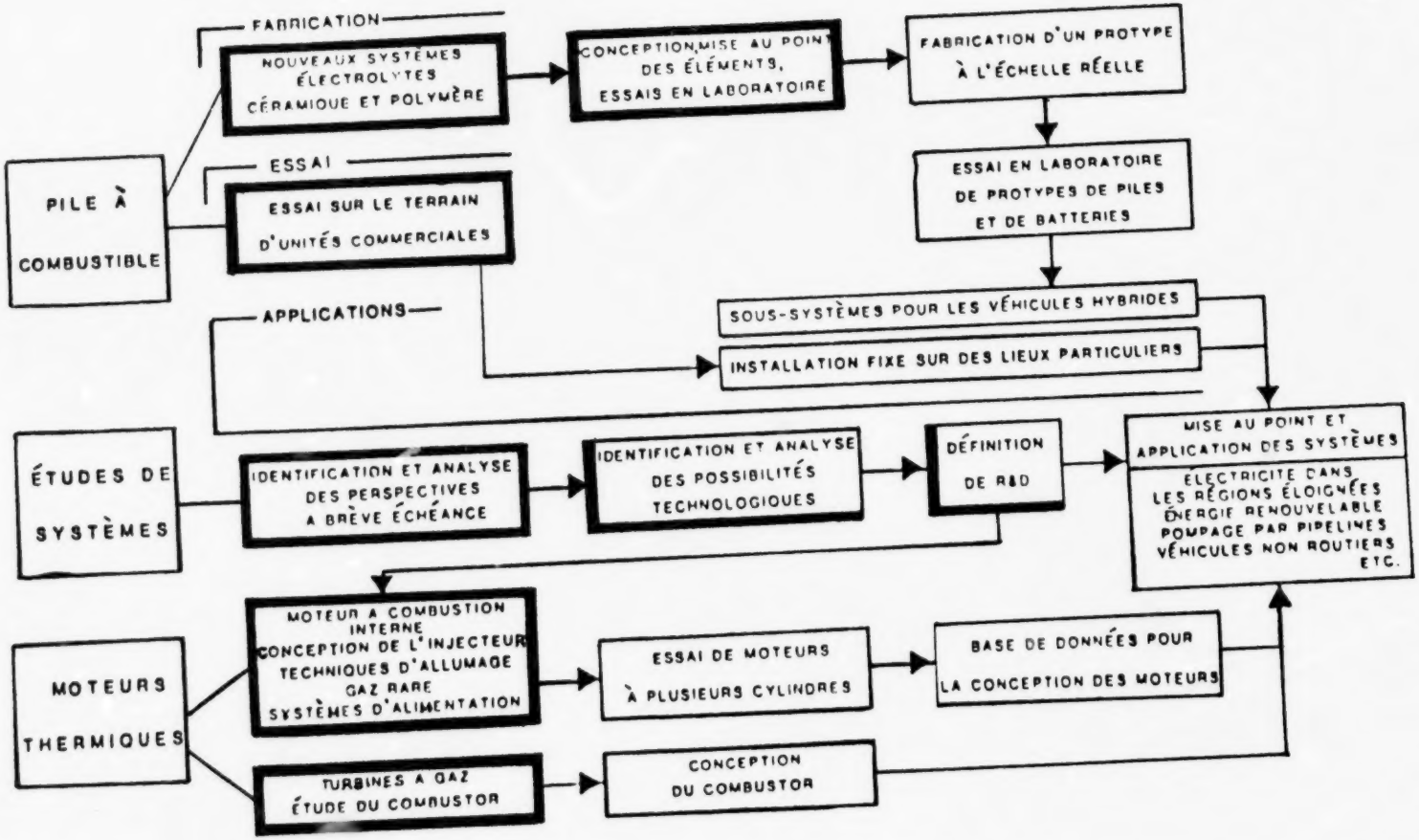


PROGRAMME DE STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE (VECTEURS LIQUIDES)

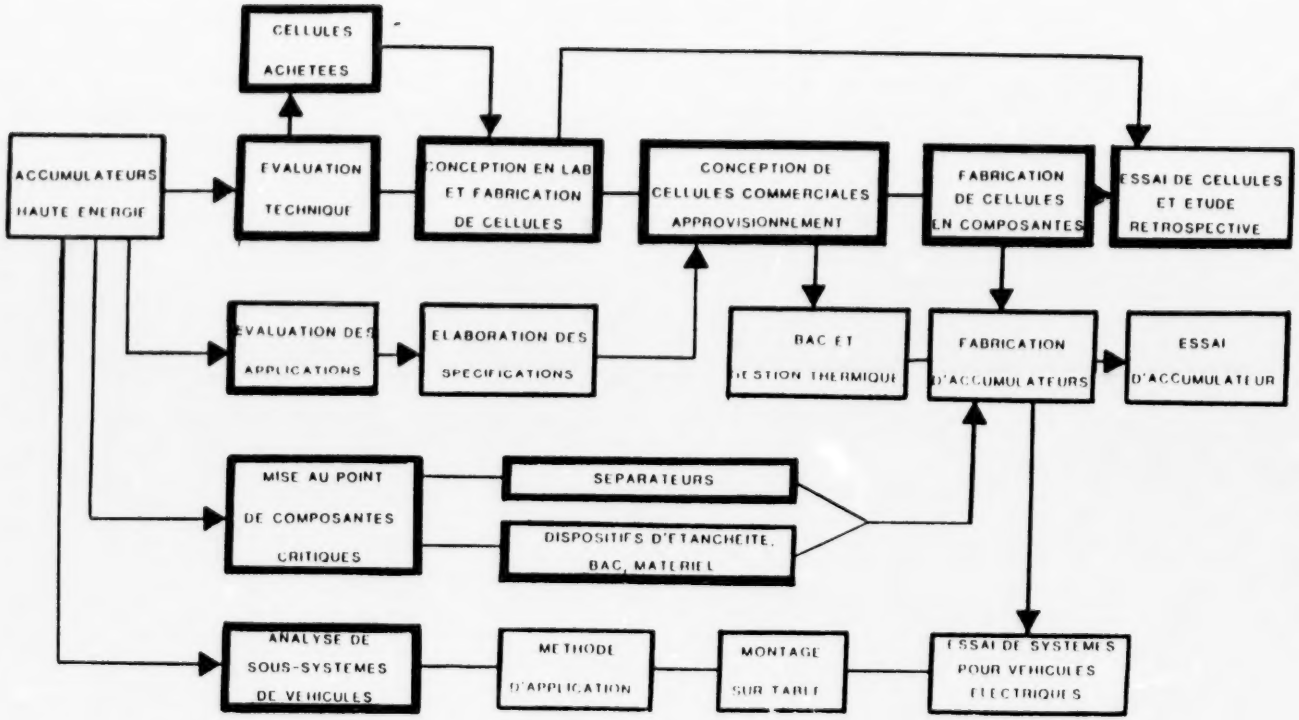
(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)



PROCRAMME DE SÛRETÉ DES SYSTÈMES À HYDROGÈNE
(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)

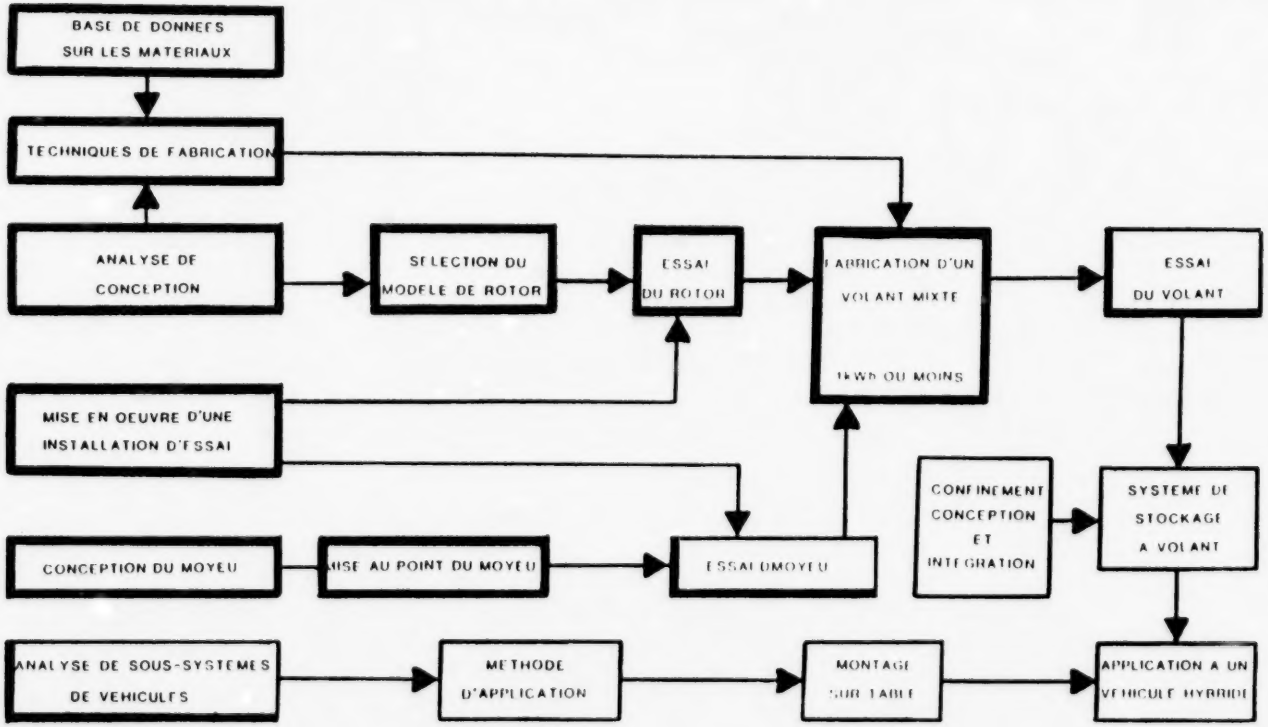


PROGRAM D'UTILISATION DE L'HYDROGÈNE
(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)



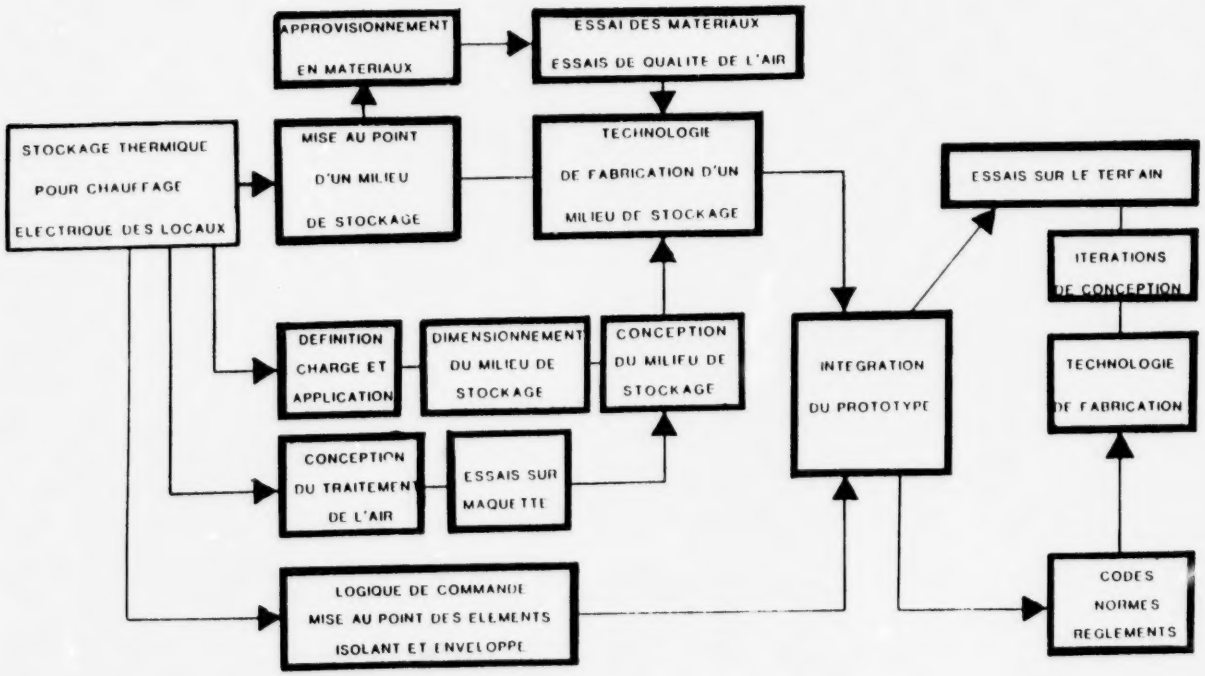
PROGRAMME DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE - ACCUMULATEURS HAUTE ÉNERGIE

(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)



PROGRAMME DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE - VOLANT

(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)



PROGRAMME DE STOCKAGE DE L'ENERGIE - THERMIQUE

(Les traits gras indiquent les travaux terminés ou en cours)

PUBLICATIONS ET PRÉSENTATIONS

Voici une liste des publications et présentations récentes, ou des anciennes dont il n'a pas été fait mention antérieurement, résultant des travaux de recherche financés en totalité ou en partie par le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. Une liste des travaux antérieurs à 1983 à été incluse dans le rapport de mai 1984. La liste est présentée par ordre alphabétique des contractants. Vis-à-vis le nom du contractant, on indique, entre paranthèses, à quelle page du présent rapport on fait référence à ces travaux.

Atlantic Industrial Research Institute (8)

. G. Murphy, W. Manuel, K.M. Castelliz et H.W. King "Electrocatalysts for Oxygen Evolution - Phase V- Final Report", Nov. (1984).

Ballard Technologies Corp. (13)

. A.E. Steck, "Development and Characterization of Aromatic Ionomer Membranes" atelie du Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

Blue Mountain Pottery Ltd. (96)

. R. Miller "High Temperature Battery Separator Development- Phase I - Final Report", juin 1983

. R. Miller "High Temperature Battery Separator Development- Phase II - Final Report", Nov. 1984

Canatom Inc. (66)

. Materials for Gaseous Hydrogen Containment - Final Report", mars (1985)

. K.M. Kalvanam et A.R. Lvle "Hvgrogen Bulk Storage - Phase I - Report", août (1983)

. K.M. Kalyanam et A.R. Lyle "Hydrogen Bulk Storage - Phase II - Final Report" juillet (1984).

CANMET/EMR

. S.M. Ahmed "The Canadian Contribution to the IEA Work on Hydrogen Production by Photoelectrolysis of Water". Hydrogen Energy Progress V, 1013-1026 (1984).

. A. Ahmad, J.D. Canaday, T.A. Wheat et A.K. Kuriakose, "A Computer-controlled Data Acquisition System for Electrical-Electrochemical Characterization of Ceramic Materials", présenté à la réunion annuelle de la Canadian Ceramic Society, Toronto 1984.

. A. Ahmad, T.A. Wheat, A.K. Kuriakose et J.D. Canaday, "Effect of Processing on the Dielectric Characteristics of Na and Na-K Beta/Beta"-alumina", présenté à la réunion annuelle de l'Electrochemical Society, New Orleans (Louisiane) octobre 1984.

. A. Ahmad, J.D. Canaday, T.A. Wheat et A.K. Kuriakose, "A Computer-controlled Data Acquisition System for Electrical-Electrochemical Characterization of Ceramic Materials", ERP/MSL 87-17(OP).

. A.K. Kuriakose, T.A. Wheat, A. Ahmad et J.D. Canaday, "Hardness of Beta-alumina and Zirpsios", ERP/MSL 84-29(OP).

. A. Ahmad, T.A. Wheat, A.K. Kuriakose et J.D. Canaday, "Effect of Processing on the Dielectric Characteristics of Na and Na-K Beta/Beta"-alumina", ERP/MSL 84-93(OP&J).

. J.D. Canaday, T.A. Wheat, A.K. Kuriakose et A. Ahmad, "Gas Phase Relations for Protonic Solid Electrolyte Fuel Cells", ERP/MSL 84-125(J).

. J.D. Canaday, T.A. Wheat, A.K. Kuriakose et A. Ahmad, "A Microcomputer System for Fuel Cell Measurements", ERP/MSL 84-154(J).

. J.D. Canaday, T.A. Wheat, A.K. Kuriakose et A. Ahmad, "Polarization Models for Protonic Solid Electrolyte Fuel Cells", ERP/MSL 84-157(J).

. A. Stockman et P.S. Nicholson "Ultrasonic Scattering and Voids in Glass: Theory & Practice" présenté à la 82^{è} conférence annuelle de la Canadian Ceram. Soc. Toronto, mars 1984.

. K. Yamashita et P.S. Nicholson "Alkali (Na, K, Cs) and Hydronium Ion Conducting Rare Earth Silicate ($M_5RSi_4O_{12}$): M = Na, K, H_3O; R = Gd, Y)", présenté à la 86^{è} conférence annuelle de l'Amer. Ceram. Soc., Pittusburgh, 1er mai 1984.

. A. Stockman et P.S. Nicholson "Ultrasonic Detection of Microflaws in Ceramics - Theory & Practice" présenté à la 86^{è} conférence annuelle de l'Amer. Ceram. Soc., Pittsburgh, mai 1984.

. Demandes de brevets déposées pour le Gasicon et le Yasicon.

Chemetics International (64)

. R.E. Knowlton, "An Investigation of the Safety Aspects in the Use of Hydrogen as a Ground Transportation Fuel" Hydrogen Energy Progress V, 1881-1892, (1984).

. R.E. Knowlton, "The Safety of Hydrogen as a Ground Transportation Fuel", Cryogenic Processes and Equipment - 1984. Edit. P.J. Kerney et coll., publié par l'American Society of Mechanical Engineers.

. R. E. Knowlton, "Creative Checklist Hazard and Operability Studies", Chemical Manufacturers Association Process Safety Management Workshop, Sheraton Crystal City, Arlington (Virginie) 7-8 mai (1985).

Chemetics International (55)

. R.E. Knowlton et H.G. Wright "Ammonia Vehicle Fuel - Final Report", avril 1984.

Chemetics International (86)

. R. E. Knowlton, ateleir du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985 "New Uses for Hydrogen in Canadian Energy Systems".

Chromalox Canada Inc. (113)

. B. Chan, "Electrical Heat Storage for Residential Application, Phase V - Final Report", avril 1983.

Conseil national de recherches (Division de chimie) (52)

. M.L. Post, J.J. Murray et J.B. Taylor "Thermochemistry of the System Mg_2Ni-H_2" présenté à la 5è Conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie, Toronto, Canada, juillet (1984).

. Z. Gavra, J.J. Murray, L.D. Calvert et J. B. Taylor "The Hydrides of $EuNi_5$ and $EuxCa_1-xNi_5$", présenté à la 5è Conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie, Toronto, Canada, juillet (1984).

Conseil national de recherches (Division de l'énergie) (4) (116)

. J.B. Taylor, J.E.A. Alderson, K.M. Kalyanam, A.R. Lyle et L.A. Phillips "Technical and Economic Assessment of Methods for the Storage of Large Quantities of Hydrogen". Proposé à l'Int. J. Hydrogen Energy.

. J.R. Whitehead et J.B. Taylor, "The International Energy Agency Cooperative Programs on Hydrogen: Past Achievements and Future Potential". Présenté à la 5^{è} Conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie, Toronto, Canada, 63-76, juillet (1984).
Proposé à l'Int. J. Hydrogen Energy.

. M. Hammerli, "An Overview of the Canadian Contributions to Task IV of the IEA Hydrogen Implementing Agreement", Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

Daychem Laboratories (13)

. F.W. Harris et R.K. Gupta, "Synthesis of Aromatic Ionomers for Membrane Materials in Advanced Alkaline Electrolyzers", présentation à l'atelier du Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

CANMET/EMR (74)

. T.A. Wheat, P.S. Nicholson et M. Nagai "Preparation of a Precursor Powder for the Manufacture of a Ceramic Hydrogen Ion Conductor", brevet can. 1,180,881 accordé le 28 avril 1984, émis le 15 jan. 1985.

. A.K. Kuriakose, T.A. Wheat, A. Ahmad et J. DiRocco "Synthesis, Sintering and Mircrostructure of Nasicons", J. Amer. Ceram. Soc. 67 179-183 (1984).

. A. Ahmad, J. D. Canadav, T.A. Wheat et A.K. Kuriakose, "A Computer-controlled Data Acquisition System for Electrical-Electrochemical Characterization of Ceramic Materials", J. Can. Ceram. Soc. 53 8-14 (1984).

. A. Ahmad, T.A. Wheat, A.K. Kuriakose et J.D. Canaday, "Effect of Processing on the Dielectric Characteristics of Na and Na-K Beta/Beta" -alumina", Extended Abstract #627, J. Electrochem. Soc. 84-2, 914 (1984).

. A.K. Kuriakose, T. A. Wheat, A. Ahmad et J.D. Canaday "Hardness of Beta-alumina and Zirpsios", présenté à la réunion annuelle de la Canadian Ceramic Soc., Toronto, fév. 1984.

. F. Harris, H. Yeager et A. Eisenberg "Preparation, characterization and development of aromatic ionomer membranes for hydrogen production - Final report", sept. 1984.

Engelhard Industries of Canada Ltd. (54)

. A. Stawsky et coll. "On Board Hydrogen Generation from Liquid Carriers - Final Report", février 1984.

Exergy Research Corporation (31)

. S.Z. Baykara et E. Bilgen, "Hydrogen Production by Solar Thermolysis of Water". Hydrogen Energy Progress V, 1111-1122, (1984).

. C. Bilgen et E. Bilgen, "Solar Hydrogen Production Using the Sulphur-Iodine Thermochemical Process", Hydrogen Energy Progress V, 517-528, (1984).

. C. Bilgen, "The Modified Cristina Process for Sulfuric Acid Decomposition - Final Report, mars 1984.

. C. Bilgen, "The Solar Cristina Process for Sulfuric Acid Decomposition - Final Report", mars 1985.

Hydrogen Industries Council (117)

. R.D. Champagne, D.R. Hay, P. Hoffman, R.L. LeRoy, C. Salama et J.B. Taylor, "Transitions to Hydrogen", Hydrogen Energy Progress V, 11-20, 1984.

Institute for Hydrogen Systems (69)

. Y. Rotenberg, F. Porretta et H.M. Edwards, "Experimental Investigation of the Effects of Vacuum Loss on the Performance of a Hydrogen Storage Tank", atelier du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985.

Kilborn Kellogg Rust (61)

. "Feasibility Study of a MicroAmmonia Plant for Energy Storage in Remote Locations - Interim Report", mars 1985.

Manitoba Research Council (58)

. R. Shand, W. Thomas, G. Reese et C. Kristiansen "Experimental Development of an Amnonia Fueled Engine - Final Report" mai 1985.

. R. Shand et W. Thomas "Experimental Development of Ammonia Fueled Engine" atelier du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985.

McGill (Université) (13)

. A. Eisenberg, E. Besso, H.L. Yeager, A. Steck, F.W. Harris et R.K. Gupta, "Aromatic Ionomer Membranes: Synthesis, Structure and Properties." Contemporary Topics dans Polymer Science 5, 375-400 (1984).

. E. Besso, A. Eisenberg, "Stress-strain study of aromatic ionomer films", actes de l'AIE, 1984.

. D. Biro, R. Murali et A. Eisenberg, Characteriaation and Mechanical Properties of Aromatic Ionomer Films", atelier du Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

. E. Besso, thèse de Ph.D., Université McGill, Montréal, 1984.

McMaster (Université) (35)

. W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials - Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Chromium and Iron-Manganese Base Alloys - Phase IV, Final Report", 1983/84.

. W.W. Smeltzer, T. Narita et K. Przyblyski, "High Temperature Sulfidation Properties of Iron-Chromium-base

Alloys", Proc. Conf. Corrosion-Erosion-Wear of Metals in Emerging Energy Systems", DOE, Lawrence Berkeley Laboratory, NACE (1982), p. 860.

T. Narita et W.W. Smeltzer, "Sulfidation Properties of an Fe-26.6 at % Cr Alloy at Temperatures 973-1173K in H_2S-H_2 Atmospheres of Sulfur Pressures 10^4-10^6 Pa", J. Oxidation Metals, 21, 39, (1984).

T. Narita et W.W. Smeltzer, "Sulfidation Mechanism of an Fe-26.6 at % Cr Alloy at Temperatures 973-1173K in H_2S-H_2 Atmospheres of Sulfur Pressures 10^4-10^6 Pa", J. Oxidation Metals, 21, 57, (1984).

T. Narita, K. Przybylski et W.W. Smeltzer, "Sulfidation Properties of an Fe-23.4Cr-18.61Al (at.%) Alloy at Temperatures 1073 and 1173K in H_2S-H_2 Atmospheres of Sulphur Pressure 10^4-10-^{5} Pa", J. Oxidation Metals 22, 181 (1984).

W.W. Smeltzer, D.J. Young, T. Walec et F.A. Elrefaie, "High Temperature Sulfidation Properties of a Ferritic Fe-22Mn-38Al (atomic %) Alloy", Proc. Int. 9th Congress on Metallic Corrosion,CNRC, 3, 24 (1984).

W.W. Smetlzer, T. Narita et F.A. Elrefaie, "Sulfidation Properties of Fe-26.6Cr and Fe-28.7Mn Alloys in H_2S-H_2 Atmospheres", Proc. 10th Int. Symp. Reactivity of Solids (sous presse) (1984).

Noranda, Centre de recherche (23) (28)

. M.B.I. Janjua et R.L. LeRoy, "Electrocatalyst Performance in Industrial Water Electrolysers". Hydrogen Energy Progress V, 605-617, (1984).

. C.T. Bowen, "Testing of Separators and Electrocatalysts for Electrolyser Cells for the Production of Hydrogen - Final Report", juin 1984.

. C.T. Bowen, H.J. Davis, B.F. Henshaw, R. Lachance, R.L. LeRoy et R. Renaud, "Developments in Advanced Alkaline Water Electrolysis". Int. J. Hydrogen Energy, 9 59 (1984).

. M.B.I. Janjua et R.L. LeRoy, "Electrocatalyst Perfromance in Industrial Water Electrolyzers". Int. J. Hydrogen Energy, 10, 11 (1985).

Ontario Research Foundation (47)

. B.G. Sellars, K.L. Yan, J. Lo et S. Johar, Glass Microcapsules for High Pressure Hydrogen Storage", Conférence de la Canadian Ceramic Society, Ottawa, Canada, fév. 1985.

K.L. Yan, J. Lo, B. Sellars, S. Johar et M.K. Murthy, "Storage of Hydrogen by High Pressure Micro-encapsulation in Glass". Présenté à la 5è Conférence modiale sur l'hydrogène pour l'énergie, Toronto, Canada, juillet 1984.

. B.G. Sellars, K.L. Yan et J. Lo "Hollow Microcapsules for Hydrogen Technology". Présentation à l'atelier technique du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE à Berne (Suisse), juin (1985).

. B.G. Sellars, J. Lo, K.L. Yan et S. Johar, "Experimental Evaluation of Hydrogen Storage in Glass Microballoons - Phase II - Final Report". Septembre 1984.

Ontario Research Foundation

. N. Middlemiss "Lithium Ionic Conductors", déc. 1981.

Pratt & Whitney Canada Inc. (83)

. F. Shum et P. Sampath, "Hydrogen Combustion Research - Final Report", avril 1984.

. P. Sampath et F. Shum "Combustion Performance of Hydrogen in a Small Gas Turbine Combustor". Sera publié dans l'Int. J. Hydrogen Energy (1985).

. P. Sampath et F. Shum. "Combustion Performance of Hydrogen Gas in a Small Gas Turbine Combuster". Hydrogen Energy Progress V, 1467-1479 (1984).

Queen's University, Kingston (19)

. M.F. Bell, M. Sayer, P.S. Nicholson et K. Yamashita. "Low Temperature Vapour Phase Electrolysis Using β"-Aluminas", Hydrogen Energy Progress V, 571-580, (1984).

. M.F. Bell, M. Sayer, D.S. Smith et P.S. Nicholson, "A Percolation Model for the Conductivity of Mixed Phase, Mixed Ion Aluminas", Solid State Ionics 9 & 10, 731-734, (1983).

. M.F. Bell, M. Sayer, P.S. Nicholson et K. Yamashita, "Medium Temperature Vapour Phase Electrolysis using β"-alumina", réunion de l'Agence internationale de l'énergie, Toronto, juillet 1984.

. P.S. Nicholson, K. Yamashita, M.F. Bell et M. Sayer, "Polycrystalline β/β"-Alumina", Ceram. Bull., 63, 459 (1984).

. P.S. Nicholson, M.F. Bell, M. Sayer et K. Yamashita, "Method of onverting a Precursor Ceramic Solid into a Solid Ceramic Hydronium Conductor", demande de brevet canadien déposée le 20 décembre 1983.

. P.S. Nicholson, M. Nagai, K. Yamashita, M.F. Bell, M. Sayer et D.S. Smith, "The Preparation of a Precursor Solid for the Manufacture of a Ceramic Hydrogen Ion Conductor", demande de brevet canadien déposée le 23 juin 1983.

. M. Sayer, P.S. Nicholson, "The Selection, Preparation and Characterization of Ceramic Hydrogen Ion Conductors - Phase V - Final Report", Sept. (1984).

. M.F. Bell, M. Sayer, B.A. Judd, P.S. Nicholson et M.Z.A. Munshi, "Synthesis and Use of β"-Alumina for Steam Electrolysis", Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

Université de Calgary (13)

. A.E. Steck et H.L. Yeager, "Evaluation of Aromatic Ionomer Separators for Use in Advanced Alkaline Water Electrolyzers", Hydrogen Energy Progress V, 561-569, 1984.

. A. Steck, "Transport Properties of Perfluorinated and Aromatic Ionomer Membranes", Ph.D. Thesis, Université de Calgary, 1984.

. A. Steck et H.L. Yeager, "Conductance measurements in an electrolytic membrane cell at elevated temperatures and pressures", J. Electrochem. Soc., 130, 1297-1300, (1983).

. A. Steck, H.L. Yeager, F.W. Harris, R.K. Gupta, A. Eisenberg et E. Besso, "Aromatic ionomer membranes: II. Evaluation as separators for advanced alkaline water electrolysis", J. Appl. Polym. Sci., 29, sous presse (1985).

Université de Toronto (80)

. J.S. Wallace "Direct Injection of H_2 -Fueled Diesel Engine Tests", Atelier du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985.

York (Université) (10)

. M. Hempstead, M. Melnik, A. Nevin, W. Liu, A.B.P. Lever et C.C. Leznoff. "Binuclear Phthalocvanines as Model Electrocatalysts for the Reduction of Oxygen", Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

RAPPORT SUR L'ÉTAT DU PROGRAMME DE L'HYDROGÈNE ET DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE — CNRC 1985

LISTE DES CONTRATS

Page	*	Objet	MONTANT (1 000 $) 83/84	84/85	85/86
8	(IV)	Catalyseurs cathodiques (Atlantic Industrial Res. Inst.)	75,9	58,4	-
13	(IV)	Electrolytes polymériques solides (Daychem)	122,6	153,2	80,0
		(U. McGill)	67,6	87,6	46,1
		(U. de Calgary)	119,2	90,3	-
		(Ballard)	-	94,3	78,9
16	(IV)	Electrolytes polymériques solides (U. Carleton/CNRC)	40,0	41,5	-
19	(IV)	Electrolytes à haute température (U. Queens)	131,2	161,7	77,5
		Essai d'électrolytes solides (U. McMaster)	23,7	-	-
10	(IV)	Electrocatalyseur à électrons multiples (U. York)	-	37,6	19,7
23	(IV)	Cellule d'essai d'électrolyseur (Noranda)	94,0	174,0	42,9
28		Mise au point d'électrolyseurs (Noranda)	365,5	459,9	404,6
31		Production thermochimique (Exergy)	67,8	68,4	-
34	(IV)	Essai d'un petit électrolyseur (CNRC/Life Systems)	62,0	-	-
35		Matériaux pour haute température (U. McMaster)	40,0	39,9	-
42		Stockage massif (CANATOM)	162,0	38,0	-
47	(VII)	Microencapsulation (Ontario Research Foundation)	201,8	232,1	33,5
-	(VII)	Vecteurs liquides (Engelhard)	55,5	-	-
56		Vecteurs liquides (O.R.F.)	-	30,0	-
58	(VII)	Moteurs à ammoniac (Conseil de recherches du Manitoba)	35,2	171,3	-
61		Micro-usine d'ammoniac (Associated Kellogg Ltd)	-	61,0	-
64		Secrétariat pour le comité sur la sûreté des systèmes à hydrogène (Chemetics)	12,5	25,4	17,8
66	(VII)	Matériaux pour confinement de l'hydrogène gazeux (CANATOM)	-	102,6	-
55		Sûreté des dispositifs à l'ammoniac (Chemetics)	29,9	-	-

Page	*	Objet	MONTANT (1 000 $) 83/84	84/85	85/86
69	(VII)	Essai d'un réservoir à hydrogène liquide (IHS)	-	125,9	99,0
-		Achat d'une pile à combustible (United Technologies)	654,3	-	-
73		Acquisition de données et analyse concernant la pile à combustible de l'U.T. (Sci. App. Inc.)	-	49,0	40,0
71		Essai d'une pile à combustible (B.C. Hydro)	-	274,0	-
		Essai et expédition d'une pile à combustible (I.H.S.)		43,6	
-		Contribution (Institut des systèmes à hydrogène)	401,0	-	-
74		Pile à combustible à électrolyte solide CANMET/EMR)	600,0	660,0	368
77	(IV)	Pile à combustible à électrolyte polymérique solide (Centre de recherches pour la défense, Ottawa/Ballard)	200,0	210,0	
80	(VII)	Moteur à hydrogène (U. de Toronto)	130,3	27,5	-
82	(VII)	Moteur à hydrogène (CNRC)	98,6	70,0	-
83	(VII)	Turbine à gaz (Pratt & Whitney)	67,0	-	-
86	(VII)	Analyse de systèmes (Chemetics)	15,7	200,9	6,5
121		Transitions à l'hydrogène (Escher Foster, Technology, contribution à la 5e Conf. mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie)	20,5	4,5	-
-		Stockage de l'énergie marémotrice (Simons Energy Consultants)	1,8	-	-
93		Fabrication d'accumulateurs à deux cellules LiFeS (The Electrofuel Manufacturing Co.)	473,5	517,5	288,8
-		Nitrure de bore (Blue Mountain Pottery)	208,2	97,8	-
96		Séparateurs au nitrure de bore (Electrofuel)	-	211,9	166,1
94		Installation d'essai d'accumulateurs (CRDO)	30,0	43,0	-
99		Véhicule à accumulateur de l'Alcan (TDC)	-	110,0	-
102		R et D en matière de véhicules électriques (EMR)	200,0	53,0	-
104		Véhicules électriques (Transports Canada)	100,0	142,0	-
104		Sous-systèmes à carburant sans hydrocarbure (Davis Eng. Ltd.)	19,5	241,9	-
109		Volants d'inertie (U. d'Ottawa)	223,9	227,2	72,6
113		Stockage de la chaleur (Chromalox)	433,4	6,3	18,4
117		Secrétariat de l'AIE (HIC)	34,4	24,0	8,0
116		Secrétariat de l'AIE (R. Whitehead)	-	21,7	-